เอกสารประกอบการสอน

วิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

รหัสวิชา 3106 – 2012

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สาขาวิชาการก่อสร้าง ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม

เรียบเรียงโดย

นายธนกาญจน์ สำเภาลอย

แผนกวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

เอกสารประกอบการสอน

วิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

รหัสวิชา 3106 – 2012

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง

สาขาวิชาการก่อสร้าง ประเภทวิชาช่างอุตสาหกรรม

เรียบเรียงโดย

นายธนกาญจน์ สำเภาลอย

แผนกวิชาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

แผนบริหารการสอนประจำหน่วยที่ 1

เวลาที่ใช้สอน 3 ชั่วโมง

หัวข้อเนื้อหาประจำหน่วย

1. คำจำกัดความ
2. วัสดุผสมคอนกรีต
3. คุณสมบัติของเหล็กเสริม

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เข้าใจความหมายของคำจำกัดความต่างๆ ได้อย่างถูกต้อง
2. เข้าใจคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุผสมคอนกรีตได้อย่างถูกต้อง
3. เข้าใจคุณสมบัติต่างๆ ของเหล็กเสริมได้อย่างถูกต้อง

แนวคิดในการสอน

เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจ และอธิบายความหมายต่าง ๆ ของคำจำกัดความของคอนกรีตเสริมเหล็ก คุณสมบัติของวัสดุผสมคอนกรีต และคุณสมบัติของเหล็กเสริม ในงานก่อสร้างได้อย่างถูกต้อง

วิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บอกจุดประสงค์การเรียนรู้
2. สอนแบบบรรยาย
3. นักเรียนได้เรียนรู้และจดบันทึก
4. ครู นักเรียน สรุป ทบทวนความรู้ความเข้าใจ
5. นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อ Power point
2. สื่อแผ่นใส
3. เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. แบบฝึกหัดท้ายบท

การวัดผลและประเมินผล

1. การตอบคำถาม และการอภิปราย
2. การทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ตัวอย่าง

หน่วยที่ 1
คอนกรีต เหล็กเสริม

ปัจจุบันโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นที่นิยมในการเลือกใช้ในงานก่อสร้างอาคารต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นอาคารขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ เนื่องจากมีความแข็งแรง คงทนถาวร ทนไฟ และทนต่อสภาวะดินฟ้าอากาศได้ดี นอกจากนี้ยังมีราคาถูกเมื่อเปรียบเทียบกับโครงสร้างชนิดอื่นๆ เช่น ไม้หรือเหล็ก และยังสามารถหล่อให้มีรูปร่างหน้าตา ขนาด ความยาว ตามความต้องการได้ ในปัจจุบันยังได้มีการพัฒนาคุณภาพของคอนกรีตให้มีคุณสมบัติที่ดีตอบสนองความต้องการของงานในหลากหลายลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ อาคารที่สร้างโดยใช้โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กมีอยู่ทั่วไป เช่น อาคารพักอาศัย อาคารศูนย์การค้า ถนน สะพาน อุโมงค์ เขื่อน กำแพงกันดิน เป็นต้น

ในการออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก สิ่งที่ต้องคำนึงในอันดับต้นๆ คือความประหยัดและความปลอดภัย ดังนั้นผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องรู้จักคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุที่นำมาผสมเป็นคอนกรีต และเหล็กเสริมที่จะใช้ เพื่อให้ได้โครงสร้างที่มีความแข็งแรง ปลอดภัย ได้มาตรฐาน ในราคาที่เหมาะสม

1.1 คำจำกัดความ

กำลังคลาก หรือจุดคลาก (fy) - ค่าต่ำสุดของกำลังคลาก หรือจุดคลากของเหล็กเสริมมีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังคลากหรือจุดคลากนี้หาได้จากการทดสอบแรงดึงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.)

กำลังอัดของคอนกรีต (f_c') - หาได้จากการทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดมาตรฐาน $\varnothing$ 15 x 30 ซม. ตามวิธีการที่ระบุไว้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.) เมื่ออายุได้ 28 วัน หรือเร็วกว่านั้น ถ้าต้องการให้คอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกเต็มที่ในเวลานั้น ๆ

ความลึกประสิทธิผล - ระยะจากผิวนอกสุดด้านรับแรงอัดถึงศูนย์ถ่วงของเหล็กเสริมรับแรงดึงในองค์อาคารหนึ่งๆ

คอนกรีต - ส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมละเอียด มวลรวมหยาบและน้ำ

คอนกรีตน้ำหนักเบา - คอนกรีตที่ใช้มวลรวมเบา

คอนกรีตล้วน - คอนกรีตที่อยู่นอกเหนือจากคำนิยาม สำหรับคอนกรีตเสริมเหล็ก

คอนกรีตหล่อสำเร็จ - ชิ้นส่วนที่ทำด้วยคอนกรีต ซึ่งหล่อสำเร็จจากที่อื่นแล้วนำมาประกอบในโครงสร้าง

คอนกรีตเสริมเหล็ก - คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมในลักษณะที่ทำให้เหล็กและคอนกรีตทำงานร่วมกันในการต้านแรงต่าง ๆ ที่เกิดแก่คอนกรีต

คอนกรีตอัดแรง - คอนกรีตเสริมเหล็กที่ทำให้เกิดหน่วยแรงขึ้นภายใน โดยให้มีขนาดและการกระจายของหน่วยแรงตามต้องการที่จะลบล้างหน่วยแรงอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุกใช้งาน

น้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน - น้ำหนักบรรทุกจรซึ่งกำหนดไว้ในพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร

น้ำหนักบรรทุกคงที่ใช้งาน - น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่คำนวณมาได้ ซึ่งรองรับโดยองค์อาคาร

หน่วยแรง - แรงต่อหน่วยพื้นที่มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

มวลรวม - วัสดุเฉื่อยต่อปฏิกิริยาทางเคมี ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และน้ำเพื่อให้ได้คอนกรีต

มวลรวมเบา - มวลรวมที่มีหน่วยน้ำหนักที่สภาพหลวม และแห้งไม่เกิน 1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เหล็กข้ออ้อย - เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ที่ทำข้อนูนเป็นปล้อง ๆ ตลอดความยาว เพื่อวัตถุประสงค์ในการเพิ่มแรงยึดหน่วง

เหล็กคอม้า - เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตตามแนวยาวที่งอขึ้นทำมุมกับแนวเหล็กเสริมดังกล่าว

เหล็กปลอก - เหล็กเส้นที่พันรอบเหล็กเสริมตามแนวยาวในองค์อาคาร

เหล็กเสริม - วัสดุซึ่งเป็นไปตามข้อ 2105 ทั้งนี้ ไม่นับรวมเหล็กเสริมอัดแรงที่ใช้กับคอนกรีตอัดแรง

เหล็กกลมผิวเรียบ - เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตที่มีผิวเรียบ

สารผสมเพิ่ม - วัสดุที่นอกเหนือจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มวลรวมหยาบ มวลรวมละเอียด หรือน้ำ ซึ่งเติมลงไปในขณะผสมคอนกรีตเพื่อให้ได้คุณสมบัติของคอนกรีตตามความต้องการ

เสา - องค์อาคารรับแรงอัดอยู่ในแนวตั้ง และมีความยาวเกินสามเท่าของด้านที่แคบที่สุด

เสา ค.ส.ล. แกนเหล็ก - เสาซึ่งมีเหล็กกล้าหรือเหล็กหล่อเป็นแกนใน มีเหล็กเสริมตามแนวยาวและพันด้วยเหล็กปลอกเกลียว

เสาแบบผสม - เสาที่ใช้องค์อาคารเหล็กเป็นตัวรับน้ำหนักส่วนใหญ่ และหุ้มด้วยคอนกรีตที่มีคุณภาพดีพอที่รับน้ำหนักส่วนที่เหลือได้

องค์ของอาคาร - ส่วนหนึ่ง ๆ ของโครงสร้างที่ใช้ต้านทานแรงต่าง ๆ เช่น เสา คาน แผ่นพื้น เป็นต้น

1.2 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มนุษย์สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ในงานก่อสร้าง โดยทั่วไปจะประกอบด้วยวัสดุ 2 อย่าง คือ ส่วนที่เป็นเพสต์ และส่วนที่เป็นมวลรวม ส่วนที่เป็นเพสต์ประกอบด้วยปูนซิเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกับน้ำ ทำหน้าที่จับยึดส่วนที่เป็นมวลรวม ได้แก่ หินหรือกรวด ทราย ให้เกาะกันแน่นเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะแข็งตัวภายใน 24 ชั่วโมง และสามารถรับแรงอัดได้มากขึ้นเรื่อย ๆ ตามอายุ จนคงที่เมื่ออายุวันได้ประมาณ 28 วัน

1.2.1 วัสดุผสมคอนกรีต

1.2.1.1 ปูนซีเมนต์ เป็นวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิววัสดุละเอียด เช่น ทราย และวัสดุหยาบ เพื่อให้วัสดุเหล่านี้ติดเป็นเนื้อเดียวกัน มาตรฐานสำหรับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ของกรมวิทยาศาสตร์ กระทรวงอุตสาหกรรม แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท คือ

ประเภทที่หนึ่ง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

ประเภทที่สอง ปูนซีเมนต์ที่ใช้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง

ประเภทที่สาม ปูนซีเมนต์ประเภทแข็งตัวเร็ว

ประเภทที่สี่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ

ประเภทที่ห้า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง

1.2.1.2 ทราย จะต้องเป็นทรายน้ำจืด เม็ดคมและสะอาด ทรายที่ใช้ผสมคอนกรีตของโครงสร้างหลัก เช่น ฐานราก เสา คาน พื้น จะต้องใช้ทรายหยาบ สำหรับทรายละเอียดนั้นจะใช้ในการทำปูนฉาบไม่นิยมใช้ผสมเป็นคอนกรีต ทรายขี้เป็ดหรือทรายถมมีสีดำเพราะมีสารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกต่างๆ ปะปนมาด้วยใช้สำหรับถมที่ ห้ามนำมาผสมคอนกรีต การทดสอบอย่างง่ายๆ ให้เอาทรายประมาณหนึ่งกำมือใส่ในแก้วน้ำ เติมน้ำที่สะอาดแล้วกวนให้ทั่ว ถ้ามีสิ่งสกปรกจะเห็นลอยอยู่ในน้ำ

1.2.1.3 หินย่อยหรือกรวด หินเป็นวัสดุก่อสร้างที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ ที่มีความแข็งแรงทนทานชนิดหนึ่งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง แต่ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะหินที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมของคอนกรีตเท่านั้น

หินที่นำมาใช้ในการทำคอนกรีต ต้องมีคุณลักษณะดังนี้

1. มีความแข็งแกร่งดีพอ

2. มีผิวขรุขระ หยาบพอและมีเหลี่ยม ที่จะให้ส่วนผสมที่เป็นซีเมนต์เกาะและแทรกตัวอยู่ได้อย่างมั่นคง

3. ต้องมีความสะอาดเพียงพอ

4. ใช้ขนาดต่างๆ กัน เพื่อประสานกันได้แน่น มีช่องว่างน้อยที่สุด

ขนาดของหินอ่อนที่ใช้ในการก่อสร้างมีดังนี้

1. หินใหญ่ มีขนาด 8-16 นิ้ว
2. หินสี่ มีขนาด 6-8 นิ้ว
3. หินสาม มีขนาด 3-4 นิ้ว
4. หินสอง มีขนาด 1-2 นิ้ว
5. หินหนึ่ง มีขนาด 1 นิ้วลงมา
6. หินฝุ่นประมาณ ½ นิ้ว

1.2.1.4 น้ำ (Water) น้ำเป็นตัวที่ทำปฏิกิริยาทางเคมีในคอนกรีต และเมื่อผสมกับซีเมนต์จะเป็นซีเมนต์เพสท์ที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสานให้มวลรวมยึดเกาะเป็นเนื้อเดียวกัน น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตจะต้องสะอาด โดยปกติน้ำที่ใช้ดื่มได้นั้นถือว่าสามารถนำมาผสมคอนกรีตได้

ปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตนับได้ว่าเป็นเรื่องสำคัญอย่างยิ่งต่อกำลังของคอนกรีต เพราะถ้าใช้ปริมาณน้ำเกินความต้องการจะทำให้ได้คอนกรีตที่กำลังต่ำและคุณภาพอื่นๆ ของคอนกรีตก็จะลดลงตามไปด้วย โดยปกติทั่วไปปริมาณน้ำที่ใช้ในการผสมคอนกรีตจะบอกเป็นอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนัก

1.2.1.5 สารผสมเพิ่ม สารเคมีผสมเพิ่มหมายถึง สารอื่นๆ นอกเหนือจาก ซีเมนต์ วัสดุผสมและน้ำ ที่ใช้เติมในส่วนผสมของคอนกรีต ไม่ว่าจะก่อนหรือขณะกำลังผสม เพื่อให้ได้ผลตามวัตถุประสงค์ข้อหนึ่งหรือหลายข้อก็ได้ ดังต่อไปนี้ เช่น ทำให้ความสามารถเทได้ดีขึ้น เกิดการกักกระจายฟองอากาศ ทำให้มีความทนทานเพิ่มขึ้น เร่งหรือหน่วงการก่อตัวและการแข็งตัว เกิดการกระจายซีเมนต์ทำให้ซีเมนต์เปียกทั่ว ช่วยในการขับน้ำให้หมดสิ้น เป็นต้น

1.2.2 คุณสมบัติของคอนกรีต

1.2.2.1 กำลังอัดของคอนกรีต เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีต หรือคุณสมบัติในการรับแรงอัด กำลังอัดของคอนกรีตจะถือเอาจากผลการทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน

การทดสอบกำลังอัดประลัยของคอนกรีต จะทำได้โดยการกดแท่งทดสอบมาตรฐานรูปทรงกระบอก ขนาด ∅ 15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวนแท่งทดสอบนี้ควรใช้อย่างน้อย 3 ตัวอย่าง กำลังของคอนกรีตขึ้นอยู่กับอายุของคอนกรีต สัดส่วนในการผสม ปริมาณน้ำที่ใช้ และการบ่มคอนกรีต

ตารางที่ 1.1 ค่ากำลังอัดของคอนกรีตต่ำสุดสำหรับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ โดยน้ำหนัก	ค่ากำลังอัดของคอนกรีต ต่ำสุดเมื่ออายุ 28 วัน
0.35	420 ksc
0.40	350 ksc
0.50	280 ksc
0.60	225 ksc
0.70	175 ksc
0.80	140 ksc

1.2.2.2 ความต้านทานแรงดึงของคอนกรีต คอนกรีตสามารถรับแรงดึงได้ประมาณ 10 % ของกำลังอัดประลัย แต่อย่างไรก็ดีการคำนวณออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก จะสมมติว่าคอนกรีตรับแรงดึงไม่ได้เลย จึงให้เหล็กเสริมทำหน้าที่รับแรงดึงทั้งหมด

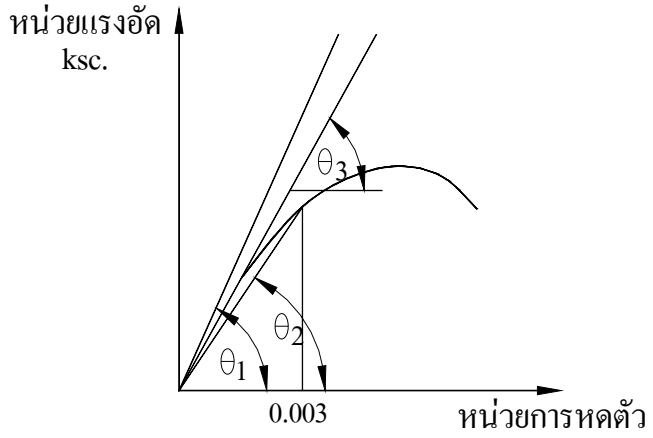
1.2.2.3 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต เมื่อมีน้ำหนักหรือหน่วยแรงกระทำต่อโครงสร้าง ซึ่งอยู่ในช่วงจำกัดยืดหยุ่น หน่วยการหดตัวจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยแรง อัตราส่วนของหน่วยแรงต่อหน่วยการหดตัว เรียกว่า โมดูลัสยืดหยุ่น (E) มีวิธีหาต่างๆ กัน คือ

1) Initial modulus คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัส ซึ่งได้จากการลากเส้นให้สัมผัสกับเส้นสัมพันธ์ ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว ณ จุดเริ่มต้น

2) Secant modulus คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นที่ลากจากจุดเริ่มต้นจุดใดๆ บนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการหดตัวที่ต้องการหา

3) Tangent modulus คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นสัมผัสกับจุดใดๆ บนเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการหดตัว

ค่าโมดูลัสซึ่งหาได้จากเส้นสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดกับหน่วยการหดตัว ซึ่งได้จากการทดสอบหากำลังอัดของคอนกรีต ค่าโมดูลัสนี้จะแสดงถึงความแข็งแรงของวัสดุต่อการโก่งตัวในคาน



รูปที่ 1.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัว

การหาโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

E_C = Initial modulus = $\tan \theta_1$

E_C = Secant modulus = $\tan \theta_2$

E_C = Tangent modulus = $\tan \theta_1$ และ $\tan \theta_2$

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดว่าค่า โมดูลัสแห่งความยืดหยุ่นของคอนกรีตไว้ดังนี้ (ว.ส.ท. 6202)

$$E_C = 4{,}270 w^{1.5} \sqrt{fc'} \quad (kg./cm.^2)$$

เมื่อ w เป็นน้ำหนักจำเพาะของคอนกรีตระหว่าง 1.45 – 2.48 (T./m.^{3})

fc' เป็นกำลังอัดประลัยของแท่งทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน (kg./cm.^{2})

สำหรับคอนกรีตน้ำหนักธรรมดา 2.33 T./m.^{3} กำหนดให้ใช้

$$E_C = 15{,}210 \sqrt{fc'} \quad (kg./cm.^2)$$

1.3 เหล็กเสริม

เหล็กเป็นวัสดุที่มีความสำคัญมากชนิดหนึ่งในงานก่อสร้าง โดยหลักจะเป็นส่วนประกอบของโครงสร้างตั้งแต่เสาเข็มจนถึงหลังคาใช้ในงานก่อสร้างตั้งแต่งานขนาดเล็ก บ้านพักอาศัยจนถึงสะพาน เขื่อน และสิ่งก่อสร้างขนาดใหญ่

เหล็กที่ใช้ในงานก่อสร้างส่วนมากจะใช้ร่วมกับคอนกรีต จึงเรียกเหล็กเสริมคอนกรีต วัสดุทั้ง 2 ชนิดต้องใช้ร่วมกันเนื่องจากคอนกรีตมีคุณสมบัติรับแรงอัดหรือแรงกดได้ดีแต่รับแรงดึงได้น้อย เหล็กมีคุณสมบัติรับแรงดึงและแรงอัดได้สูง การใช้ร่วมกันทำให้โครงสร้างสามารถรับแรงอัด แรงดึง แรงเฉือนหรือแรงบิด ที่เกิดขึ้นได้ดี

1.3.1 ผลิตภัณฑ์เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

เหล็กเส้นเสริมคอนกรีตมี 3 ชนิด คือ

1.3.1.1 เหล็กข้ออ้อย (Deformed bars) : ผลิตจากเตาหลอมเป็นเหล็กแท่ง แล้วนำมารีดเป็นเส้นกลม ซึ่งมีบั้งที่ผิวเพื่อเสริมกำลังยึดระหว่างเหล็กกับคอนกรีต เป็นเหล็กที่ใช้ในงานก่อสร้างขนาดกลาง จนถึงขนาดใหญ่ เช่น อาคารสูงๆ

1.3.1.2 เหล็กเส้นกลม (Round bars) : ผลิตจากเตาหลอมเป็นเหล็กแท่ง แล้วนำมารีดเป็นเส้นกลมใช้สำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก และขนาดกลาง เช่น บ้านพักอาศัย ตึกแถว ถนนและใช้เป็นเหล็กปลอกสำหรับคานและในโครงสร้างขนาดกลางและใหญ่

1.3.1.3 เหล็กรีดซ้ำ (Re-rolled Round bars) : ผลิตมาจากเศษเหล็กที่ได้มาจากเข็มพืด เหล็กแผ่นต่อเรือ เหล็กโครงสร้างรูปพรรณ หรือเหล็กที่คัดออกระหว่างการกระทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ นำมารีดเป็นเส้นกลม เหมาะสำหรับงานก่อสร้างขนาดเล็ก เช่น บ้านพักอาศัย

1.3.2 ชั้นคุณภาพและมาตรฐานของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

สำหรับงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต เพื่อให้เหล็กเส้นที่ผลิตได้ในประเทศมีคุณภาพและมาตรฐานเดียวกัน

ตารางที่ 1.2 ชั้นคุณภาพและมาตรฐานของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต

สินค้า	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพที่	สัญลักษณ์ (ชื่อขนาด)	เส้นผ่าศูนย์กลาง
เหล็กข้ออ้อย (Deformed bars)	มอก. 24-2524	1	SD-24	10 มม. (DB 10)
		2	SD-30	12 มม. (DB 12)
		3	SD-35	16 มม. (DB 16)
		4	SD-40	20 มม. (DB 20)
		5	SD-50	22 มม. (DB 22)
				25 มม. (DB 25)
				28 มม. (DB 28)
				32 มม. (DB 32)
เหล็กเส้นกลม (Round bars)	มอก. 20-2524	1	SR-24	6 มม. (RB 6)
				9 มม. (RB 9)
				12 มม. (RB 12)
				15 มม. (RB 15)
				19 มม. (RB 19)
				22 มม. (RB 22)

สินค้า	มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	ชั้นคุณภาพที่	สัญลักษณ์ (ชื่อขนาด)	เส้นผ่าศูนย์กลาง
				25 มม. (RB 25) 28 มม. (RB 28) 34 มม. (RB 34)
เหล็กรีดซ้ำ (Re-rolled round bars)	มอก. 211-2524	1	SRR-24	6 มม. (RRB 6) 9 มม. (RRB 9) 12 มม. (RRB 12) 15 มม. (RRB 15)

ความหมายของสัญลักษณ์

SD-24 หมายถึง เหล็กที่มีความเค้นถึงที่จุดคราก (Yield strength) ไม่น้อยกว่า 24 kg./mm.^{2}

SD-30 หมายถึง เหล็กที่มีความเค้นถึงที่จุดคราก (Yield strength) ไม่น้อยกว่า 30 kg./mm.^{2}

SD-35 หมายถึง เหล็กที่มีความเค้นถึงที่จุดคราก (Yield strength) ไม่น้อยกว่า 35 kg./mm.^{2}

SD-40 หมายถึง เหล็กที่มีความเค้นถึงที่จุดคราก (Yield strength) ไม่น้อยกว่า 40 kg./mm.^{2}

SD-50 หมายถึง เหล็กที่มีความเค้นถึงที่จุดคราก (Yield strength) ไม่น้อยกว่า 50 kg./mm.^{2}

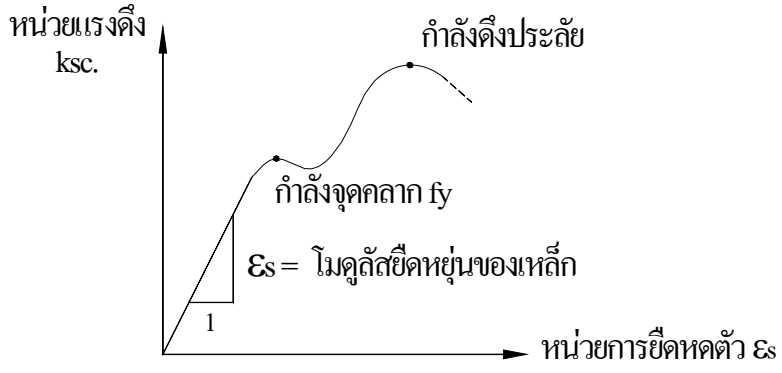
SR-24 หมายถึง เหล็กที่มีความเค้นถึงที่จุดคราก (Yield strength) ไม่น้อยกว่า 24 kg./mm.^{2}

SRR-24 หมายถึง เหล็กที่มีความเค้นถึงที่จุดคราก (Yield strength) ไม่น้อยกว่า 24 kg./mm.^{2}

1.3.3 คุณสมบัติของเหล็กเสริม

คุณสมบัติที่สำคัญของเหล็ก เหล็กที่ควรทราบเพื่อใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กได้แก่

1.3.3.1 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity)



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงและหน่วยการยืดตัวของเหล็ก

โมดูลัสความยืดหยุ่นของเหล็กมีค่าประมาณ 204,000 kg./cm.^{2}

ES = 2.04×10^6 ksc.

1.3.3.2 กำลังรับแรงดึง (Tensile stress) หมายถึง แรงดึงสูงสุดที่ดึงเหล็กตัวอย่างจนขาด หาได้จากกราฟ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง แรงที่ใช้ดึงเหล็กตัวอย่างกับความยาวของเหล็กที่เพิ่มขึ้น หน่วยของความเค้นต้านทานแรงดึงเป็นกิโลกรัมต่อตารางมิลลิเมตรหรือกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรมาจากแรงที่ใช้ดึงหารด้วยพื้นที่หน้าตัดขวางของเหล็กตัวอย่าง

1.3.3.3 กำลังจุดคลาก (Yield stress) หมายถึง แรงดึงที่เหล็กเริ่มยืดตัว โดยไม่ต้องใช้แรงดึงเพิ่มอีกเลย

1.3.3.4 ชนิดและขนาดของเหล็กเสริม เหล็กเสริมแบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ เหล็กชนิดที่ใช้สำหรับก่อสร้างเหล็กชนิดแข็งปานกลางและเหล็กชนิดแข็ง เหล็กชนิดแข็งจะมีกำลังจุดคลากสูงสุดแต่หักง่ายกว่าเหล็กชนิดอื่นเมื่อดัดทำขอ ส่วนเหล็กชนิดที่ใช้สำหรับก่อสร้างมีกำลังจุดคลากต่ำสุด ขนาดของเหล็กเส้นกลมผิวเรียบจะมีตั้งแต่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม. ถึง 28 มม. ส่วนขนาดของเหล็กข้ออ้อยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 10 มม. ถึง 32 มม.

ตารางที่ 1.3 กำลังจุดคลากและกำลังดึงประลัยของเหล็กเสริม

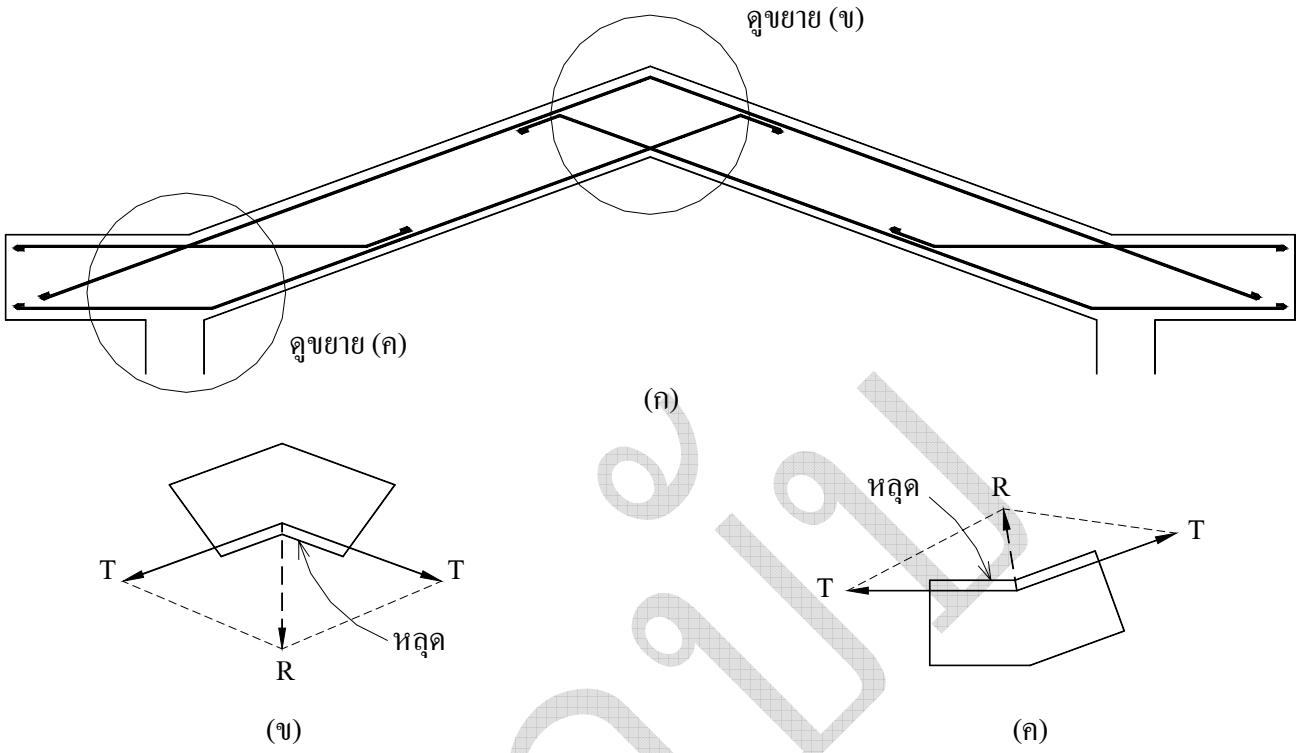
ชนิดของเหล็ก	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง	กำลังจุดคลาก (ksc.)	กำลังดึงประลัย (ksc.)
เหล็กเสริมเรียบ	6-9 มม.	2,500	4,100
	12 มม. ขึ้นไป	2,400	4,100
เหล็กข้ออ้อย	SD-24	2,400	4,100
	SD-30	3,000	
	SD-35	3,500	4,900
	SD-40	4,000	

ตารางที่ 1.4 ผลิตภัณฑ์ของ บ.ล.ส.

ผลิตภัณฑ์	ชั้นคุณภาพ	มอก.	ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)	ความยาว (ม.)	การใช้งาน
เหล็กข้ออ้อย	SD-30	24-2524	10,12,16,20,25,28,32	10 และ 12	งานก่อสร้าง
	SD-40	24-2524	10,12,16,20,25,28,32	10 และ 12	ขนาดกลาง
	SD-50	24-2524	25,28 และ 32	10 และ 12	และขนาดใหญ่
เหล็กเส้นกลม	SR-24	20-2524	6,9,12,15,19 และ 25	10	งานก่อสร้าง
เหล็กรีดซ้ำ	SRR-24	211-2524	6,9,12 และ 15	10	ขนาดเล็กทั่วไป

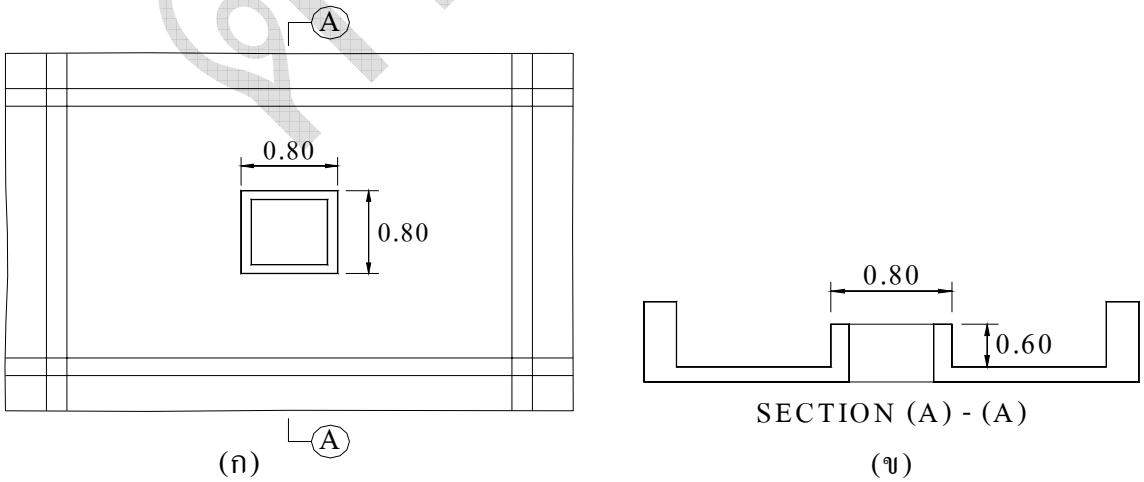
1.3.4 การจัดและแสดงรายละเอียดในคานพิเศษ

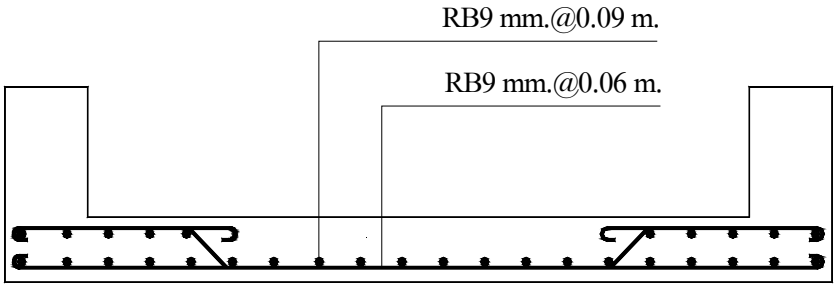
1.3.4.1 การเสริมเหล็กในคานหักงอ



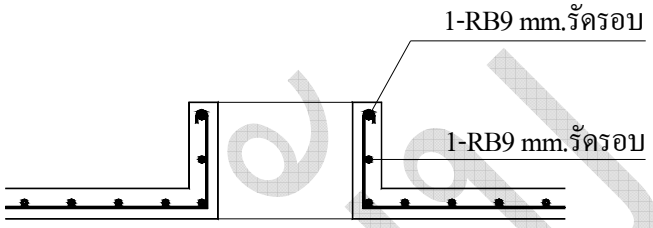
รูปที่ 1.3 แสดงการเสริมเหล็กในคานหักงอ

1.3.4.2 การเสริมเหล็กพิเศษรัดรอบรูเจาะในแผ่นพื้น

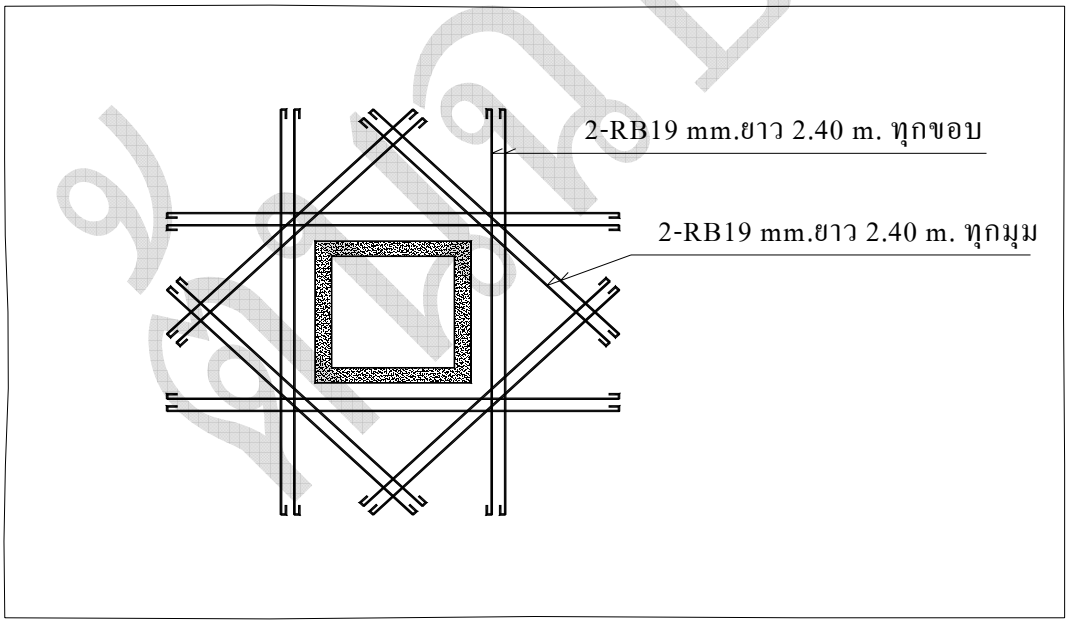




(ค)



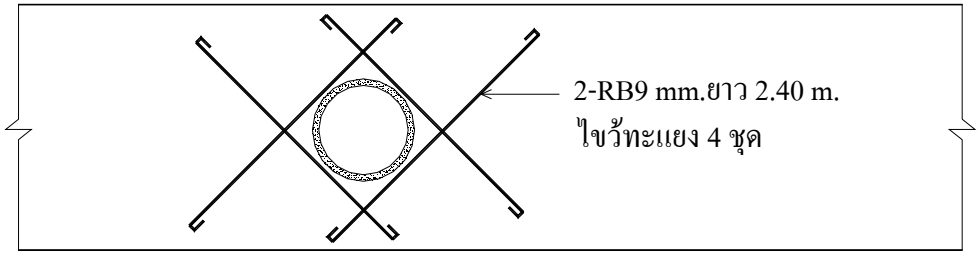
(ง)



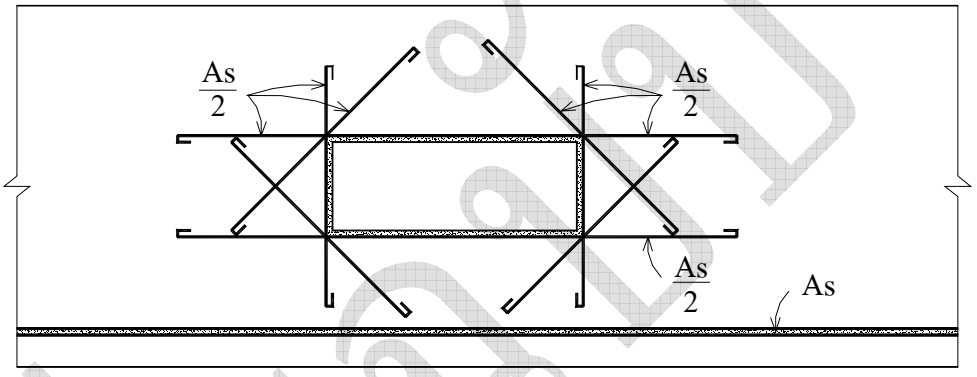
(จ)

รูปที่ 1.4 แสดงการเสริมเหล็กพิเศษรัดรอบรูเจาะในแผ่นพื้น

1.3.4.3 การเสริมเหล็กรอบรอยเจาะสำหรับการฝังท่อเหล็กทะลุคาน

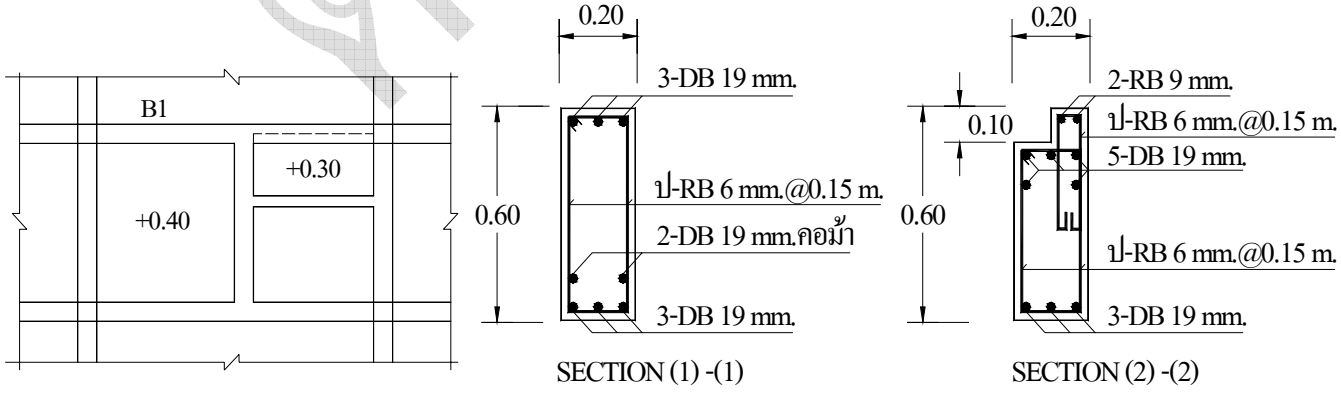


รูปที่ 1.5 แสดงการฝังท่อในคาน

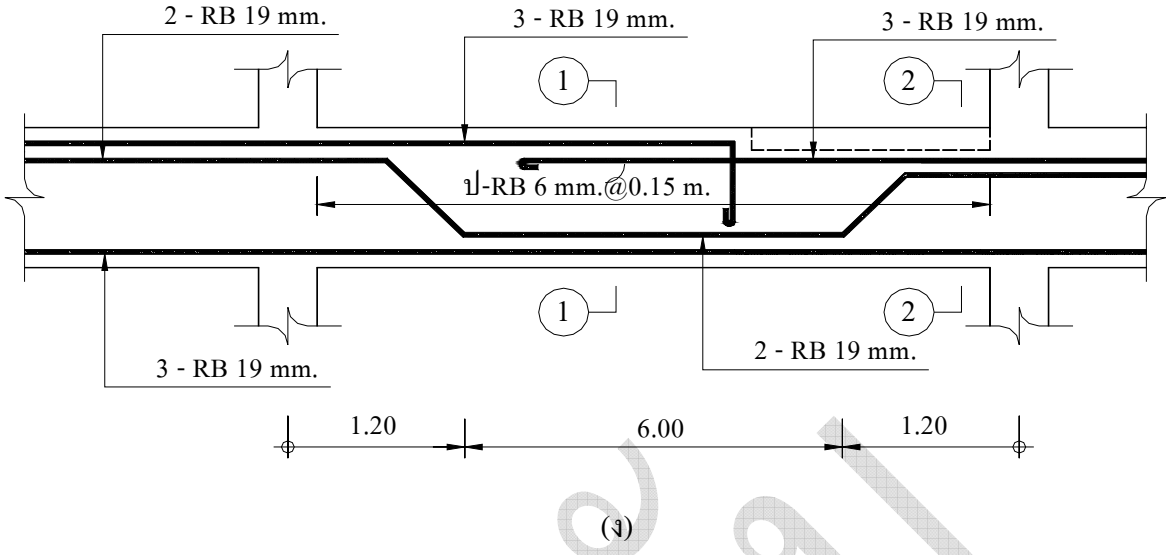


รูปที่ 1.6 แสดงการเสริมเหล็กรอบรอยเจาะสำหรับท่อลมปรับอากาศ

1.3.4.4 การแสดงรายละเอียดคานที่ต้องลดระดับบริเวณห้องน้ำ

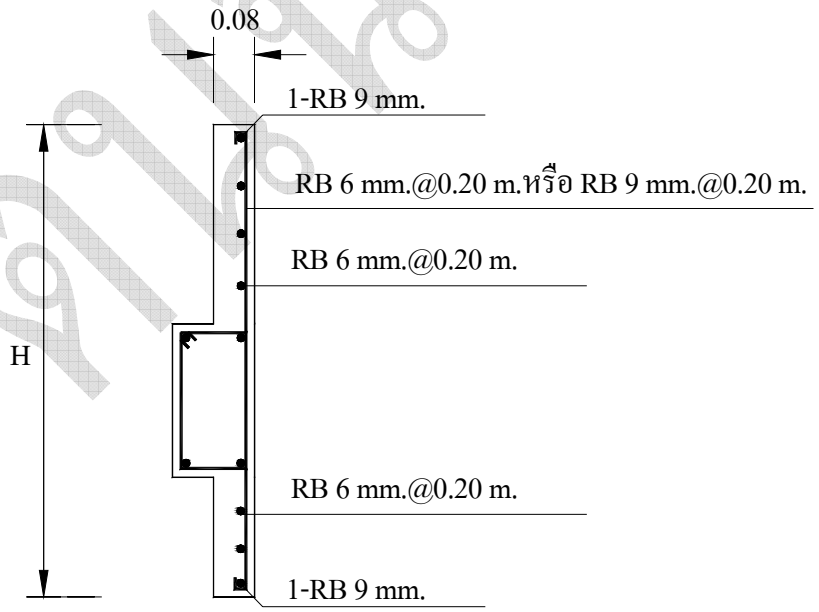


(ก) (ข) (ค)



รูปที่ 1.7 แสดงรายละเอียดคานที่ต้องลดระดับบริเวณห้องน้ำ

1.3.4.5 การเสริมเหล็กในครีบหรือผนังที่ตั้งหรือห้อยจากคาน



รูปที่ 1.8 แสดงการเสริมเหล็กในครีบหรือผนังที่ตั้งหรือห้อยจากคาน

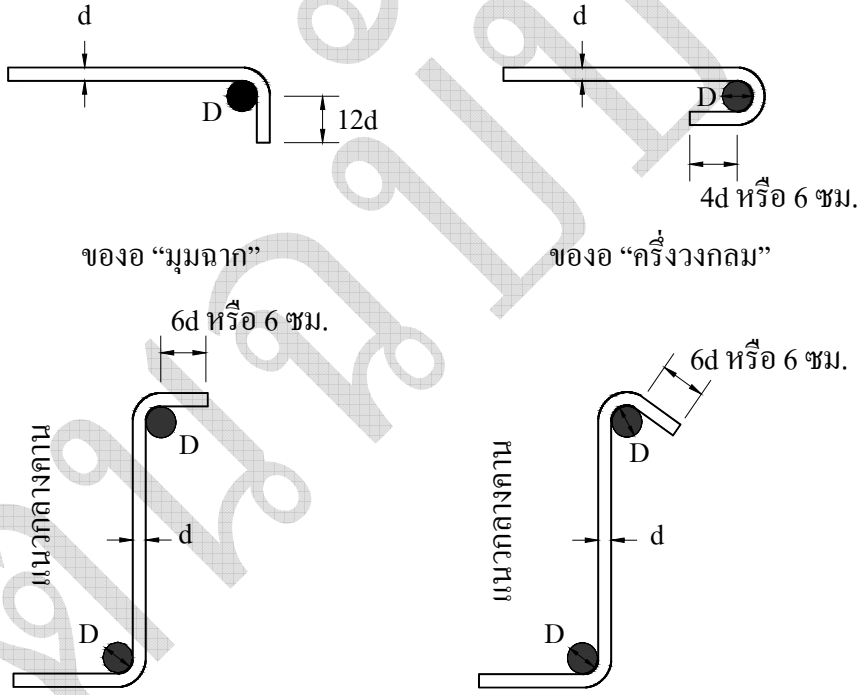
1.3.4.6 มาตรฐานของอ มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดเกี่ยวกับ “ของอมาตรฐาน” ไว้ดังนี้

(ก) ส่วนที่งอเป็นครึ่งวงกลมโดยมีส่วนที่ยื่นต่อออกไปอีกอย่างน้อย 4 เท่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น แต่ระยะที่ยื่นนี้ต้องไม่น้อยกว่า 6 ซม.

(ข) ส่วนที่งอเป็นมุมฉากโดยมีส่วนยื่นต่อออกไปถึงปลายสุดของเหล็กอีกอย่างน้อย 12 เท่า ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

(ค) สำหรับเหล็กลูกตั้งและเหล็กปลอก ให้งอ 90 องศา หรือ 135 องศา โดยมีส่วนที่ยื่นถึงปลายขออีกอย่างน้อย 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กกลางของเหล็ก แต่ต้องไม่น้อยกว่า 6 ซม. และต้องมีรัศมีวัดด้านในของเหล็กไม่สั้นกว่าหนึ่งเท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น

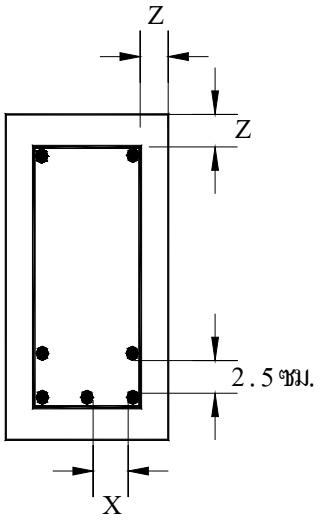
(ง) ของอมาตรฐานสามารถทานแรงดึงในเหล็กได้ถึง 700 kg./cm.^{2}



รูปที่ 1.9 แสดงของอมาตรฐาน

1.3.4.7 ระยะเรียงของเหล็กเสริมและความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็ก

(1) คาน



X ≥ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

X ≥ 1.34 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ

X ≥ 2.5 ซม.

เมื่ออยู่ในที่ร่ม ไม่ถูกดิน แดดและน้ำโดยตรง :

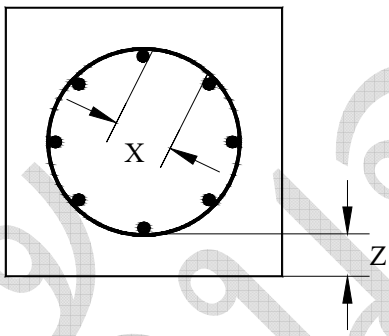
Z ≥ 2 ซม.

เมื่อต้องถูกแดด ฝนหรือสัมผัสกับดิน :

Z ≥ 3 ซม. เมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กกว่า 15 ซม.

Z ≥ 4 ซม. เมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดโตกว่า 15 ซม.

(2) เสาปลอกเดี่ยวหรือปลอกเกลียว



X ≥ 1.5 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กยืน

X ≥ 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ

X ≥ 4 ซม.

เมื่ออยู่ในที่ร่ม ไม่ถูกดิน แดดและน้ำโดยตรง :

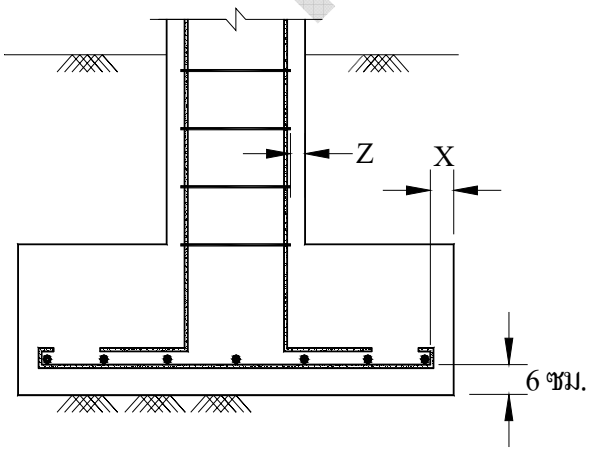
Z ≥ 3 ซม.

Z ≥ 1.5 เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ

เมื่อต้องถูกแดด ฝนหรือสัมผัสกับดิน :

Z ≥ 4 ซม.

(3) ฐานราก



X ≥ 4 ซม. เมื่อใช้ไม้แบบข้างฐานราก

X ≥ 6 ซม. เมื่อไม่ใช้ไม้แบบข้างฐานราก

เมื่อใช้ไม้แบบและต้องต้องสัมผัสกับดิน :

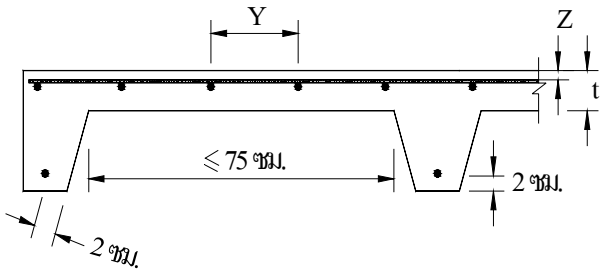
X ≥ 4 ซม.

เมื่ออยู่ในที่ร่ม ไม่ถูกดิน แดดและน้ำโดยตรง :

Z หรือ X ต้องหนาไม่น้อยกว่าขนาด

เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเส้น

(4) แผ่นพื้นหรือตง



$Y \leq 3$ เท่าของความหนาของพื้น

$Y \leq 30$ ซม.

$Y \geq$ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

$Y \geq 1.34$ เท่าของขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ

$Y \geq 2.5$ ซม.

เมื่อต้องถูกแดด ฝนหรือสัมผัสกับดิน :

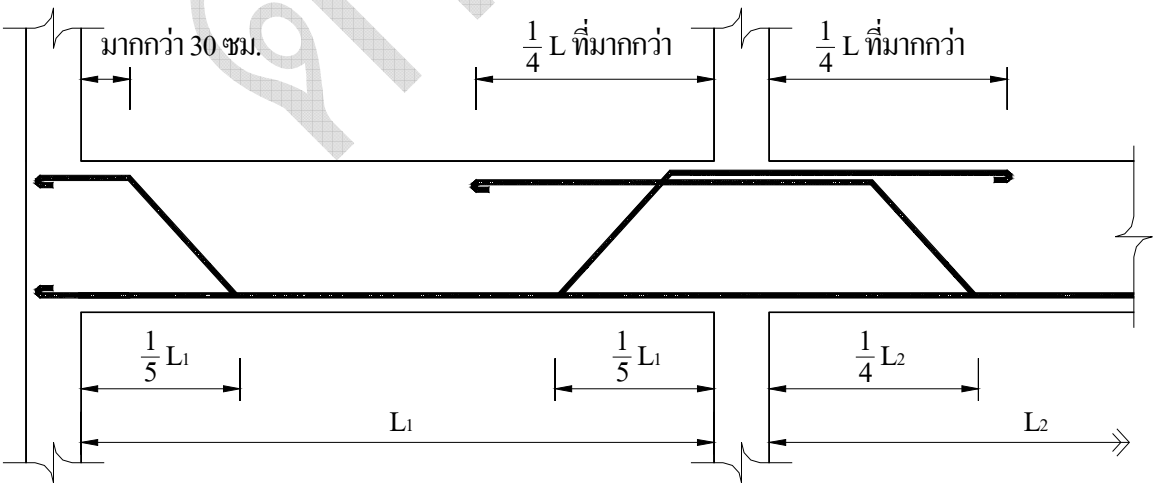
$Z \geq 3$ ซม. เมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดเล็กกว่า 15 ซม.

$Z \geq 4$ ซม. เมื่อใช้เหล็กเสริมขนาดโตกว่า 15 ซม.

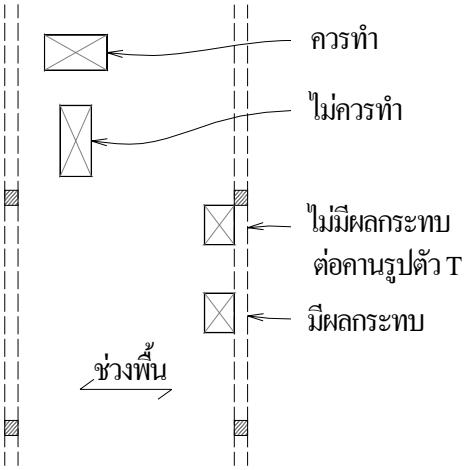
เมื่ออยู่ในที่ร่ม :

$Z \geq 2$ ซม.

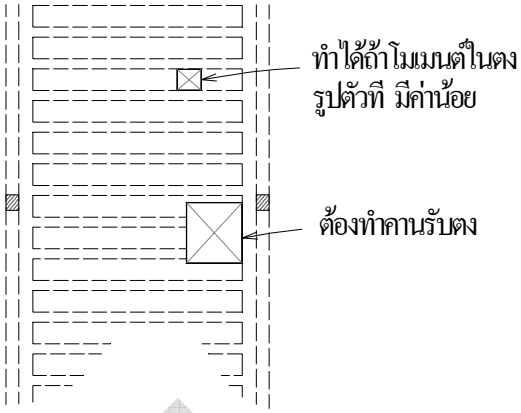
1.3.4.8 ตำแหน่งดัดเหล็กเสริมคอม้าในคาน



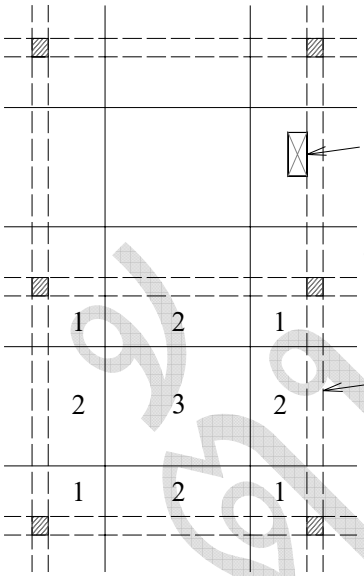
1.3.4.9 ช่องเปิดในพื้น คสล.



พื้น คสล. เสริมเหล็กทางเดียว

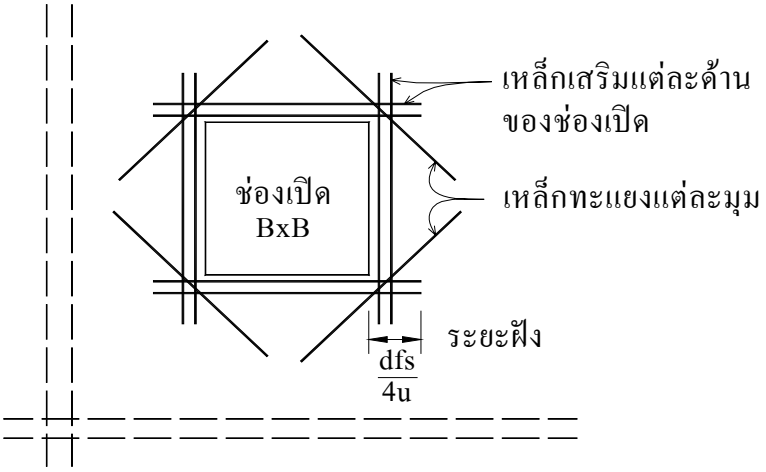


พื้น คสล. ระบบตงทางเดียว



พื้น คสล. เสริมเหล็กสองเดียว

พื้น คสล. ไร้คาน



การเสริมเหล็กรอบช่องเปิด

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

1. หากต้องการเทคอนกรีตในทะเลหรือที่มีน้ำเค็มควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทใดเป็นส่วนผสมในคอนกรีต

2. ในโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก เหล็กข้ออ้อยและเหล็กเส้นกลมมีความแตกต่างกันอย่างไร

3. เหล็กข้ออ้อยที่นิยมใช้กันทั่วไปได้แก่ชั้นคุณภาพใด

4. เหล็กรีดซ้ำมีลักษณะอย่างไร

5. โดยปกติในการเสริมเหล็กโครงสร้างนิยมดัดงอขอเหล็กลูกตั้งหรือเหล็กปลอกอย่างไร

ตัวอย่าง

แผนบริหารการสอนประจำหน่วยที่ 2

เวลาที่ใช้สอน 12 ชั่วโมง

หัวข้อเนื้อหาประจำหน่วย

1. ความต้านทานแรงดัดของคานรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า
2. หน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. คานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด
4. ขั้นตอนในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงและรับแรงอัด
5. แรงดึงทะแยง แรงเฉือน และแรงยึดเหนี่ยว
6. คานต่อเนื่อง

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. เข้าใจความหมายของความต้านทานแรงดัดของคานรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าได้อย่างถูกต้อง
2. เข้าใจความหมายของหน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวในคานคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างถูกต้อง
3. ออกแบบคำนวณคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัดได้อย่างถูกต้อง
4. เข้าใจขั้นตอนในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงและรับแรงอัดได้อย่างถูกต้อง
5. เข้าใจความหมายของ แรงดึงทะแยง แรงเฉือน และแรงยึดเหนี่ยว ได้อย่างถูกต้อง
6. ออกแบบคำนวณคานต่อเนื่องได้อย่างถูกต้อง

แนวคิดในการสอน

เพื่อให้นักศึกษาเข้าใจความหมายของความต้านทานแรงดัดของคานรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า หน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ออกแบบคำนวณคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด เข้าใจขั้นตอนในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กรับแรงดึงและรับแรงอัด เข้าใจความหมายของแรงดึงทะแยง แรงเฉือน แรงยึดเหนี่ยว และการออกแบบคำนวณคานต่อเนื่องได้อย่างถูกต้อง

วิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บอกจุดประสงค์การเรียนรู้
2. สอนแบบบรรยาย
3. นักเรียนได้เรียนรู้และจดบันทึก
4. ครู นักเรียน สรุป ทบทวนความรู้ความเข้าใจ
5. นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อ Power point
2. สื่อแผ่นใส
3. เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. แบบฝึกหัดท้ายบท

การวัดผลและประเมินผล

1. การตอบคำถาม และการอภิปราย
2. การทำแบบฝึกหัดท้ายบท

หน่วยที่ 2
คานคอนกรีตเสริมเหล็ก

คาน หมายถึง องค์อาคารที่รับแรงดัด โดยปกติคานจะอยู่ในแนวระดับและรับน้ำหนักที่กระทำตามแนวดิ่ง น้ำหนักที่กระทำต่อคานนี้จะทำให้เกิดโมเมนต์ดัดและแรงเฉือน ซึ่งจะทำให้เกิดหน่วยแรงต่างๆ ขึ้นในคาน เช่น หน่วยแรงอัด (Compressive stress) หน่วยแรงดึง (Tensile stress)

คานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยปกติทั่วไปจะมีรูปตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้ามีเหล็กเสริมฝังในเนื้อคอนกรีต เพื่อทำหน้าที่รับแรงดึงที่เกิดขึ้นในคานหรือบางครั้งมีเหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมช่วยคอนกรีตรับแรงอัดด้วย

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กหมายถึง การคำนวณเพื่อเลือกขนาดรูปหน้าตัดคานและปริมาณเหล็กเสริม เพื่อให้คานสามารถรับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานได้โดยปลอดภัยโดยหน่วยแรงต่างๆ ที่เกิดขึ้นในคานจะมีค่าได้ไม่เกินหน่วยแรงที่ยอมให้ ดังนั้นในการศึกษาการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก จะต้องศึกษาเกี่ยวกับ

1. ความต้านทานแรงดัด
2. แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม
3. ความต้านทานแรงเฉือนและแรงดึงทะแยง

2.1 ความต้านทานแรงอัดของคานรูปหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า

การศึกษาเกี่ยวกับแรงดัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก มี 2 กรณี คือ

ก. การออกแบบ (Design) หมายถึง การคำนวณหาขนาดหน้าตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริมเพื่อรับน้ำหนักที่กำหนดให้ โดยกำหนดค่าหน่วยแรงของคอนกรีต และเหล็กเสริมให้

ข. การวิเคราะห์ (Analysis) หมายถึง การวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในคอนกรีตและเหล็กเสริม ของคานที่กำหนดขนาดและค่าโมเมนต์ที่กระทำต่อคานมาให้

สมมุติฐานในการคำนวณแรงอัด

เนื่องจากคานคอนกรีตเสริมเหล็กเป็นคานที่ประกอบด้วยวัสดุสองชนิด คือ คอนกรีตและเหล็กเสริม ดังนั้นในการคำนวณแรงดัดโดยทฤษฎีอีลาสติก ให้ใช้สมมุติฐานดังนี้

ก. หน่วยการยืดตัวของเหล็กและหน่วยการหดตัวของคอนกรีตที่เกิดขึ้น มีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทิน

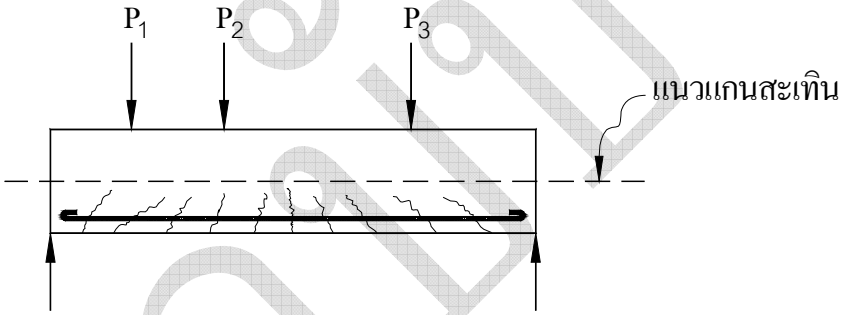
ข. พื้นที่หน้าตัดก่อนถูกแรงดัดยังคงรูปเดิมภายหลังถูกแรงดัด

ค. ในการออกแบบจะใช้เหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมด

ง. ในการคำนวณให้แปลงเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึงเป็นหน้าตัดคอนกรีต ซึ่งมีเนื้อที่ "n" เท่าของเนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริมนั้น $n = \frac{E_S}{E_C}$

2.2 หน่วยแรงและหน่วยการยืดหดตัวในคาน ค.ส.ล.

เมื่อคานมีโมเมนต์บวก เช่น คานช่วงเดียวมีแรงดัดกระทำไม่ว่าเป็นแบบน้ำหนักบรรทุกแผ่หรือกระทำเป็นจุดก็ตาม ทำให้คานถูกดัดโก่งในลักษณะที่มีแรงดัดชนิดและแรงอัดที่ผิวบนของคานลงมา มีแรงดัดชนิดแรงดึงที่ผิวล่างของคานขึ้นไปและแรงดัดมีค่าเป็นศูนย์ที่แนวแกนสะเทินและมีค่าเพิ่มขึ้นที่จุดห่างจากแนวแกนสะเทินขึ้นไป โดยมีค่ามากที่สุดที่ผิวบนของคาน สำหรับส่วนล่างใต้แนวแกนสะเทินนั้นให้ถือว่าเหล็กเสริมทำหน้าที่ต้านทานแรงดึงไว้ทั้งหมด เนื่องจากคอนกรีตที่ผิวล่างก็จะร้าวเป็นรอยที่ตั้งฉากกับความยาวคานที่บริเวณกลางคานและเป็นแนวเอียงที่บริเวณปลายคาน ดังรูป ทำให้เหลือคอนกรีตใต้แนวแกนสะเทินเพียงเล็กน้อยซึ่งจะต้านทานแรงดึงได้น้อยมากและไม่แน่นอนด้วย เพื่อความสะดวกในการออกแบบคำนวณ จึงตัดค่าความต้านทานแรงดึงของคอนกรีตออกไม่นำมาคิดเลย



รูปที่ 2.1 การแตกร้าวของคานเมื่อรับแรงดัด

2.2.1 หน่วยแรงที่ยอมให้

- สำหรับคอนกรีต รับแรงดัด

หน่วยแรงอัดที่ผิว	fc	=	$0.45\ fc'$	

- สำหรับคอนกรีต รับแรงเฉือน

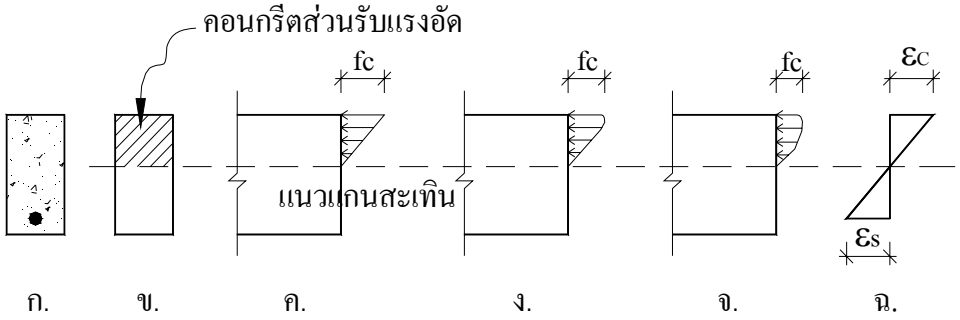
หน่วยแรงเฉือน	v_c	=	$0.29\ \sqrt{fc'}$	for beam
	v_c	=	$0.53\ \sqrt{fc'}$	for footing

- สำหรับเหล็กเสริมรับแรงดึง fs = 0.50 fy

พฤติกรรมการเกิดแรงดึงและการยืดหดตัวในคอนกรีต

1. เหล็กเส้นชนิดเหล็กโครงสร้าง เมื่อไม่มีผลการทดลองให้ใช้ 1,200 ksc. (fs = 1,200 ksc.)

2. เหล็กเสริมเอกที่มีขนาด 9 มม. หรือเล็กกว่า ในพื้นเสริมเหล็กทางเดียวที่ช่วงยาวไม่เกิน 3.0 ม. ให้ใช้ 0.50 เท่าของกำลังคลากต่ำสุด แต่ต้องไม่เกิน 2,100 ksc ($fs = 0.5fy \leq 2{,}100$ ksc.)



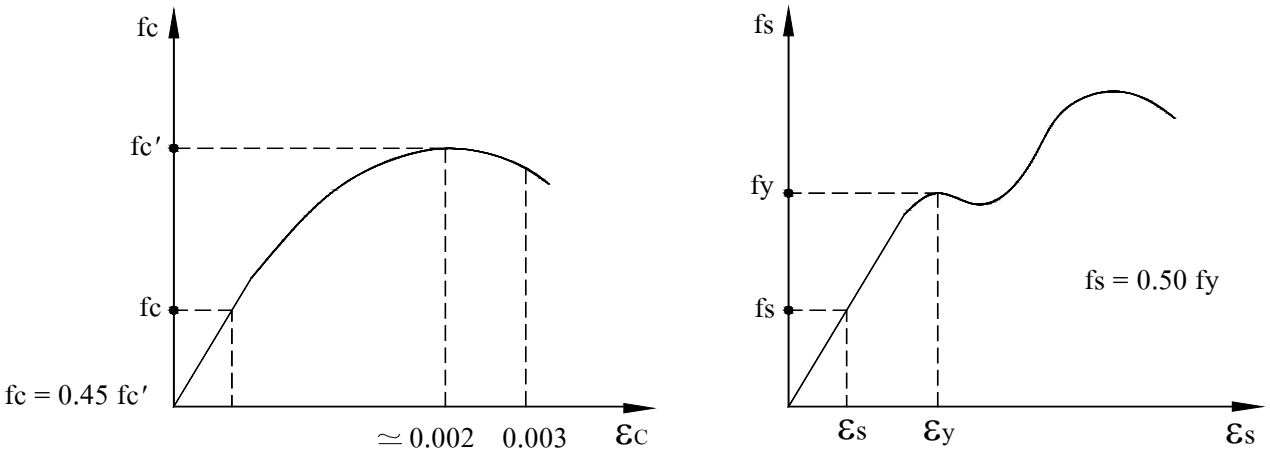
รูปที่ 2.2 แสดงการเกิดหน่วยแรงอัดของคอนกรีต

3. รูปที่ 2.2 (ก.) และ (ข.) แสดงรูปตัดคานคอนกรีตและคอนกรีตที่อยู่ตอนบนของแนวแกนสะเทิน ซึ่งรับแรงอัด ไดอะแกรมของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตในช่วงหน่วยแรงอัดน้อยๆ มีลักษณะเป็นเส้นตรงดังรูป (ค.) และเมื่อมีโมเมนต์ดัดเพิ่มขึ้นจนหน่วยแรงอัดมีค่าเกินขีดยืดหยุ่น ไดอะแกรมนี้จะมีลักษณะเป็นเส้นโค้งแต่เพียงเล็กน้อยดังรูป (ง.) และจะเป็นเส้นโค้งมากที่สุดที่หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตดังรูป (จ.) ถ้าหากมีการเพิ่มน้ำหนักบรรทุกหรือโมเมนต์ดัดให้กับคานต่อไปอีก สำหรับคานที่เสริมเหล็กเกินพอก็จะทำให้คานคอนกรีตถึงกับแตกหัก เป็นการชำรุดของคานอย่างทันทีไม่มีอาการแสดงที่จะเตือนให้ทราบล่วงหน้าจัดว่าอันตรายมาก

2.2.2 หน่วยการยืดหดตัว

สำหรับหน่วยการยืดหดตัวทั้งในเหล็กและคอนกรีตที่จุดต่างๆ ตลอดความลึกของคานมีค่าแปรตามระยะจากากแนวแกนสะเทิน ดังรูป (ฉ.) ส่วนหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าของโมเมนต์ดัดที่เพิ่มขึ้นจนถึงหน่วยแรงดึงที่จุดคลากเหล็กเส้นเสริมจะยืดมากเมื่อเลยจุดคลากจะทำให้คอนกรีตร้าวมากขึ้น เป็นเครื่องที่เตือนให้ทราบล่วงหน้าถึงการชำรุดของคานถ้าเอาน้ำหนักบรรทุกออกเสียบ้างก็จะช่วยไม่ให้คานถึงกับพังลงมาได้

การออกแบบด้วยทฤษฎีอิลาสติกนี้เป็นการออกแบบโดยพิจารณาใช้หน่วยแรงที่ยอมให้ซึ่งมีส่วนปลอดภัยประมาณสองจากหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต และจากหน่วยแรงที่จุดคลากของเหล็กเสริม ซึ่งเป็นการนำเอาคอนกรีตและเหล็กมาใช้ในช่วงที่ปลอดภัยและมีหน่วยการยืดหดตัวต่ำด้วย ดังรูปที่ 2.3 (ก.) เป็นค่าสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีต และรูปที่ 2.3 (ข.) เป็นคุณสมบัติของเหล็กเสริม



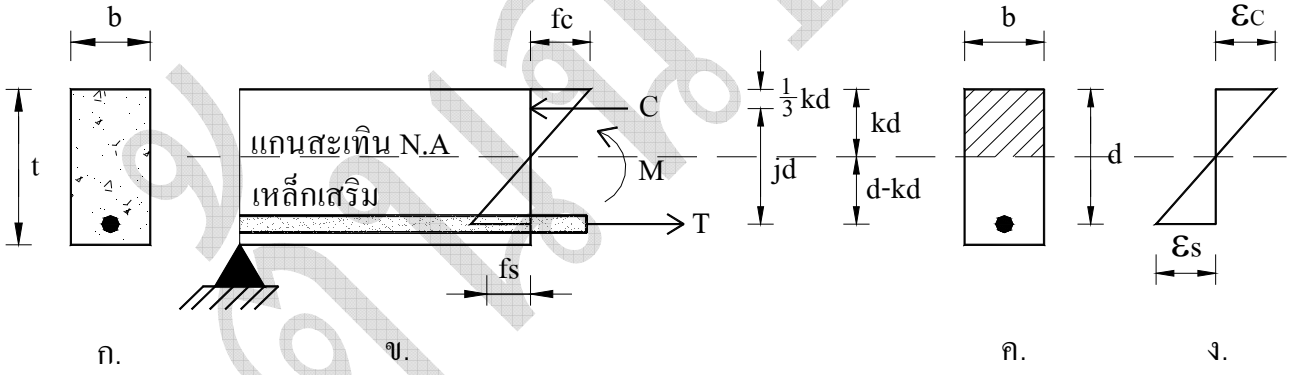
(ก.) ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีต

(ข.) ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริม

รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับหน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม

2.2.3 ความต้านทานต่อแรงดัดของคาน

คานรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง (Single reinforced beam)



รูปที่ 2.4 พฤติกรรมในการรับโมเมนต์ดัดของคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเฉพาะเหล็กรับแรงดึง

รูปที่ 2.4 (ก.) เป็นหน้าตัดของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ซึ่งรับน้ำหนักที่กระทำบนคานทำให้เกิดโมเมนต์ดัด M กระทำบนคานดังรูป (ข.)

เมื่อคานรับน้ำหนักและทำให้เกิดโมเมนต์ดัดแล้วทำให้ด้านบนของคานจากแกนสะเทินขึ้นไปจนถึงผิวบนของคานเกิดแรงอัด (Compressive stress) ดังรูป (ข.) ขณะเดียวกันเมื่อคอนกรีตส่วนบนรับแรงอัดแล้ว ทำให้เกิดความเครียด (หดตัว) เท่ากับ ε_C และที่ผิวล่างของคานเกิดแรงดึง (Tensile stress) และเกิดความเครียด (ยืดตัว) เท่ากับ ε_S ทั้ง ε_C และ ε_S มีค่าแปรตามระยะจากแนวแกนสะเทิน ดังรูป 2.4 (ง.)

การหาตำแหน่งของแกนสะเทิน

จาก Strain diagram (รูป 2.4 ง.) ของคอนกรีต ε_C และของเหล็กเสริม ε_S จะได้ว่า

$$\frac{\varepsilon_C}{\varepsilon_S} = \frac{k.d}{d-kd} \longrightarrow \frac{\varepsilon_C}{\varepsilon_S} = \frac{k}{1-k}$$

เมื่อ ε_C เป็นหน่วยการหดตัวของคอนกรีต หรือ $\varepsilon_C = \frac{fc}{E_C}$

ε_S เป็นหน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริม หรือ $\varepsilon_S = \frac{fs}{E_S}$

และกำหนดให้ $n = \frac{E_S}{E_C}$

โดยที่ n คืออัตราส่วนระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมต่อโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต ดังนั้น

$$\frac{fc/E_C}{fs/E_S} = \frac{k}{1-k}$$

หรือ

$$\frac{k}{1-k} = \frac{fc}{fs}.\frac{E_S}{E_C}$$

แทน $n = \frac{E_S}{E_C}$ $\therefore$ $\frac{k}{1-k} = n.\frac{fc}{fs}$ สมการที่ 2.1

$$k.fs = (1-k)n.fs$$

$$k.fs = n.fc - n.fc.k$$

จัดรูปสมการใหม่เป็น $k.fs + n.fc.k = n.fc$

ดึงค่า k ออกนอกวงเล็บ $k(fs + n.fc) = n.fc$

$$k = \frac{n.fc}{n.fc + fs}$$

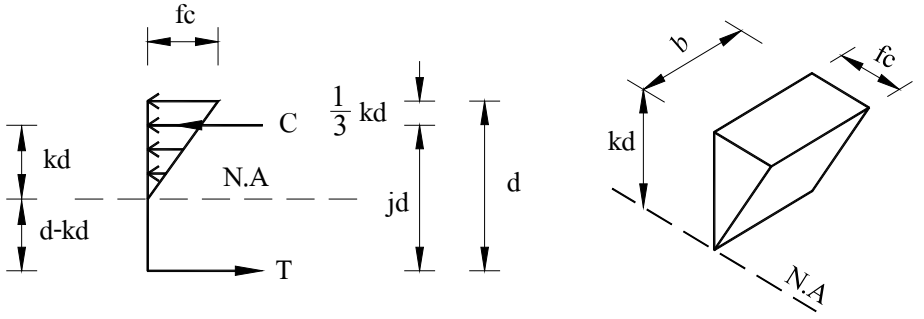
$$k = \frac{1}{1 + \frac{fs}{n.fc}}$$ สมการที่ 2.2

ค่า k ที่ได้จากสมการที่ 2.2 ใช้สำหรับหาตำแหน่งแนวแกนสะเทิน เมื่อกำหนดค่า fs , fc และ n มาให้ ใช้ในกรณีออกแบบคาน

จากรูป 2.4 (ข.) เมื่อมีน้ำหนักมา กระทำกับคานและทำให้เกิดโมเมนต์ดัด M บนหน้าตัดคาน แล้วคานก็จะสร้างโมเมนต์ต้านทาน นั้นคือ โมเมนต์คู่ควบระหว่าง แรงอัด C และแรงดึง T เพื่อต้านทานโมเมนต์ดัด M

ค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตจะกระจายเป็นรูปสามเหลี่ยม (ดังรูป 2.5) ซึ่งมีค่ามากที่สุดที่ผิวบนของคานเท่ากับหน่วยแรงที่ยอมให้หรือมีค่าเท่ากับ fc และจะลดลงจนมีค่าเป็นศูนย์ที่แนวแกนสะเทินของคาน

ดังนั้น ค่าแรงอัดในคอนกรีต (C) ซึ่งจะกระทำผ่านจุดเซนทรอยด์ของรูปสามเหลี่ยมที่มีฐานเท่ากับ fc และสูงเท่ากับ k.d (ดังรูป) ซึ่งแรง C กระทำที่จุดเซนทรอยด์ของรูปสามเหลี่ยมที่ตำแหน่ง 1/3 k.d จากผิวบนของคาน



รูปที่ 2.5 Diagram หน่วยแรงอัดของคอนกรีต

ดังนั้น ค่าแรงอัดในคอนกรีตจะมีค่าดังนี้

$$C = \frac{1}{2} fc.k.d.b \qquad \text{สมการที่ 2.3}$$

ค่าแรงดึงในเหล็กเสริม จะมีค่าเท่ากับพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมคูณด้วยหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริม (fs) ดังนั้น

$$T = As.fs \qquad \text{สมการที่ 2.4}$$

จากการสมดุลของแรงในแนวราบ $\sum F_x = 0$

จะได้ว่า $C = T$

หรือ $\frac{1}{2} fc.k.d.b = As.fs \qquad$ สมการที่ 2.5

ถ้าให้ $\rho = \frac{As}{bd}$ = ค่าเปอร์เซนต์การเสริมเหล็ก

ดังนั้น แทน $\rho.bd = As$ ในสมการที่ 2.5

จะได้ $\frac{1}{2} fc.k.d.b = \rho.bd.fs$

$$\frac{fc.k}{2} = \rho.fs$$

หรือ $$k = 2\rho.\frac{fs}{fc}$$

จากสมการที่ 2.1 $$\frac{k}{1-k} = n.\frac{fc}{fs}$$

$$\frac{fs}{fc} = \frac{n(1-k)}{k}$$

ดังนั้น $$k = \frac{2\rho.n(1-k)}{k}$$

$$k^2 + 2n\rho.k = 2n\rho$$

บวก $(n\rho)^2$ ทั้งสองข้าง

นั่นคือ
$$k^2 + 2n\rho.k + (n\rho)^2 = 2n\rho + (n\rho)^2$$
$$(k + n\rho)^2 = 2n\rho + (n\rho)^2$$
$$k + n\rho = \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2}$$
$$k = \sqrt{2n\rho + (n\rho)^2} - n\rho \qquad \text{สมการที่ 2.6}$$

ค่า k จากสมการ (2.6) ใช้สำหรับหาค่าของตำแหน่งของแนวแกนสะเทิน เมื่อรู้ขนาดของรูปตัดของคานและปริมาณเหล็กเสริม ใช้ในการวิเคราะห์คาน

และจากรูปไดอะแกรมของหน่วยแรง(ดังรูป 2.5) จะได้ระยะต่างๆ ดังนี้
$$d = jd + \frac{1}{3}kd$$
หรือ
$$j = 1 - \frac{k}{3} \qquad \text{สมการที่ 2.7}$$

ค่า j จากสมการ (2.7) นำไปหาค่าช่วงแขนโมเมนต์ (Moment arm)

พิจารณาโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต (Mc)
$$M = C.jd$$
$$= \frac{1}{2}fc.kd.b.jd$$
$$Mc = \frac{1}{2}fc.k.j.bd^2 \qquad \text{สมการที่ 2.8}$$

ถ้าให้ $\frac{1}{2}fc.k.j = R$

$$\therefore \quad Mc = R.bd^2 \qquad \text{สมการที่ 2.9}$$

พิจารณาโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม (Ms)
$$Ms = T.jd$$
$$Ms = As.fs.jd \qquad \text{สมการที่ 2.10}$$

ถ้าต้องการทราบปริมาณเหล็กเสริม As ให้ $M = Ms$
$$As = \frac{M}{fs.jd} \qquad \text{สมการที่ 2.11}$$

ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต (Mc) และค่าโมเมนต์ต้านทานโดยเหล็กเสริม (Ms) จะต้องมีค่าเท่ากับหรือมากกว่าโมเมนต์ที่กระทำต่อคาน (M) จึงจะให้คานสามารถรับน้ำหนักได้โดยปลอดภัย

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก คือ การหาขนาดของคาน (b และ d) และหาปริมาณการใช้เหล็กเสริม (As)

ถ้าต้องการทราบขนาดของคาน (b และ d) หาได้จากสมการ (2.7 และ 2.8)

โดยให้ (Mc = M) จะได้ $M = \frac{1}{2} fc.k.j.bd^2$

หรือ $M = R.bd^2$

หรือ $d = \sqrt{\frac{M}{Rd}}$

โดยปกติ ค่า $R = \frac{1}{2} fc.k.j$ จะมีค่าคงที่สำหรับค่า fc , fs , n ที่กำหนดมาให้ในการออกแบบ

การวิเคราะห์คานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Analysis) คือ การตรวจสอบหาค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตและหน่วยแรงดึงของเหล็กเสริมของคานที่ได้กำหนดขนาดกับปริมาณเหล็กเสริมและโมเมนต์หรือน้ำหนักบรรทุกที่กำหนดให้

และเป็นการตรวจสอบหาค่าโมเมนต์ต้านทานหรือน้ำหนักบรรทุกของคานที่ได้กำหนดขนาดกับปริมาณเหล็กเสริม และกำหนดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ทั้งของเหล็กและคอนกรีตมาด้วย

2.3 ชนิดของการจัดเหล็กเสริม

2.3.1 การออกแบบการเสริมเหล็กแบบสมดุล (Balance design)

Mc = Ms คานนี้เรียกว่า เป็นคานที่มีการออกแบบสมดุล (Balance design) หรือมีการเสริมเหล็กสมดุล ซึ่งหมายความว่าคานมีปริมาณเหล็กเสริมพอเหมาะที่ทำให้เกิดหน่วยแรงอัดในคอนกรีตและหน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับหน่วยแรงที่ยอมให้ทั้งสองชนิด ในขณะที่รับโมเมนต์ (โดยที่ M = Mc = Ms)

2.3.2 การออกแบบการเสริมเหล็กเกินสมดุล (Over reinforced)

Mc < Ms คานนี้เรียกว่า เป็นคานที่มีการเสริมเหล็กเกินสมดุล (Over reinforced) ซึ่งหมายความว่า เมื่อคานรับโมเมนต์ M (โดยที่ M = Mc) กระทำต่อคาน ค่าหน่วยแรงอัดที่เกิดในคอนกรีตจะมีค่าถึงหน่วยแรงที่ยอมให้ แต่ค่าหน่วยแรงที่เกิดในเหล็กเสริม ยังไม่ถึงค่าหน่วยแรงที่ยอมให้

2.3.3 การออกแบบการเสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุล (Under reinforced)

Mc > Ms คานนี้เรียกว่า เป็นคานที่มีการเสริมเหล็กต่ำกว่าสมดุล (Under reinforced) ซึ่งหมายความว่า เมื่อคานรับโมเมนต์ M (โดยที่ M = Ms) กระทำต่อคาน ค่าหน่วยแรงดึงที่เกิดในเหล็กเสริม จะมีค่าเท่ากับหน่วยแรงที่ยอมให้แต่ค่าหน่วยแรงอัดที่เกิดในคอนกรีตยังไม่ถึงค่าหน่วยแรงที่ยอมให้

ตารางที่ 2.1 แสดงความหนา “t” ต่ำสุดขององค์อาคารในกรณีที่ไม่ได้คำนวณระยะโก่ง

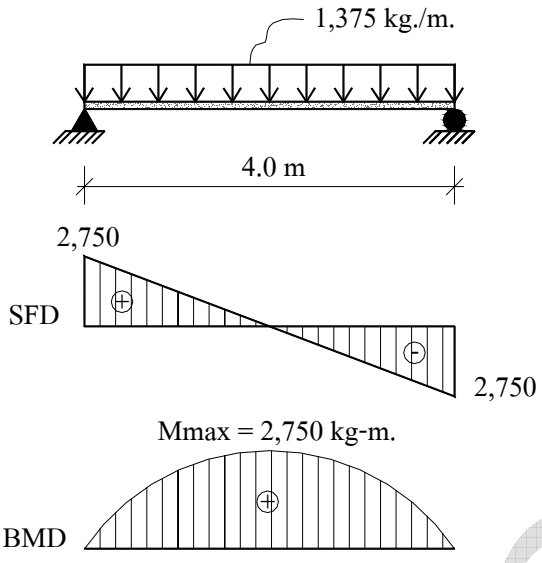
องค์อาคาร	คานหนา “t” ต่ำสุดที่กำหนดให้			
	ช่วงเดียว ธรรมดา	ปลายต่อเนื่องข้างเดียว	ปลายต่อเนื่องทั้ง 2 ข้าง	ปลายยื่น
พื้นทางเดียว	L/20	L/24	L/28	L/10
คาน	L/16	L/18.5	L/21	L/8

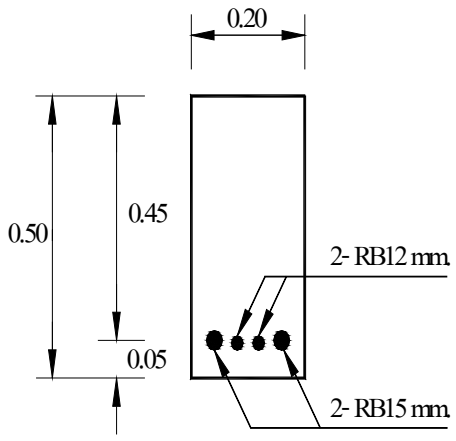
ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 2.1 การออกแบบ

จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีช่วงยาว 4.00 m. เป็นคานช่วงเดียวรับน้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่ (Uniform distributed load) 1,125 kg./m. กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ fc = 45 ksc. fs = 1,200 ksc. และ n = 14

<u>วิธีทำ</u>

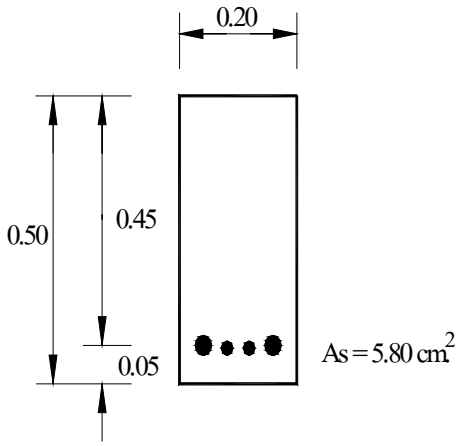




ตัวอย่างที่ 2.2 การวิเคราะห์คาน

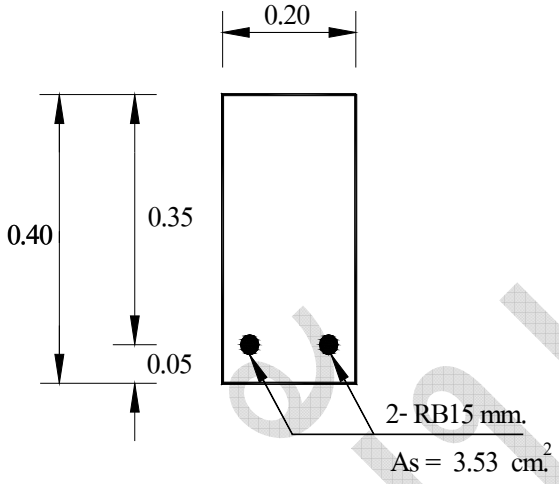
จงคำนวณหาค่าโมเมนต์ต้านทานโดยปลอดภัยของคานซึ่งมีขนาดหน้าตัดและปริมาณเหล็กเสริมที่ได้จากการออกแบบในตัวอย่างที่ 1 ถ้า n = 14 fc = 45 ksc. และ fs = 1,200 ksc.

<u>วิธีทำ</u>



ตัวอย่างที่ 2.3 การวิเคราะห์คาน

คานคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.20 x 0.40 m. เสริมเหล็กดังแสดงในรูปมีโมเมนต์กระทำต่อคาน 1,320 kg – m. ต้องการให้คำนวณค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีต และหน่วยแรงดึงของเหล็กที่เกิดขึ้นจริง ถ้า n = 14



……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

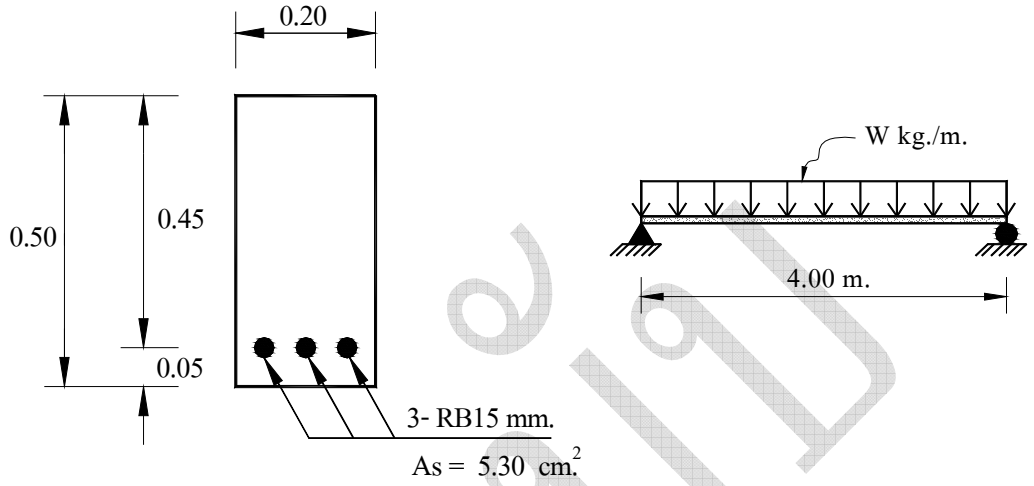
……

ตัวอย่างที่ 2.4 การวิเคราะห์คาน

คานคอนกรีตรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า 0.20 x 0.50 m. เสริมเหล็กดังแสดงช่วงคานยาว 4.00 m. ช่วงเดียว ถ้า n = 14 และหน่วยแรงที่ยอมให้ fc = 45 ksc. fs = 1,200 ksc.

จงหาค่าของ 1. โมเมนต์ต้านทานของคานโดยปลอดภัย

2. น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่ที่คานจะรับได้



……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

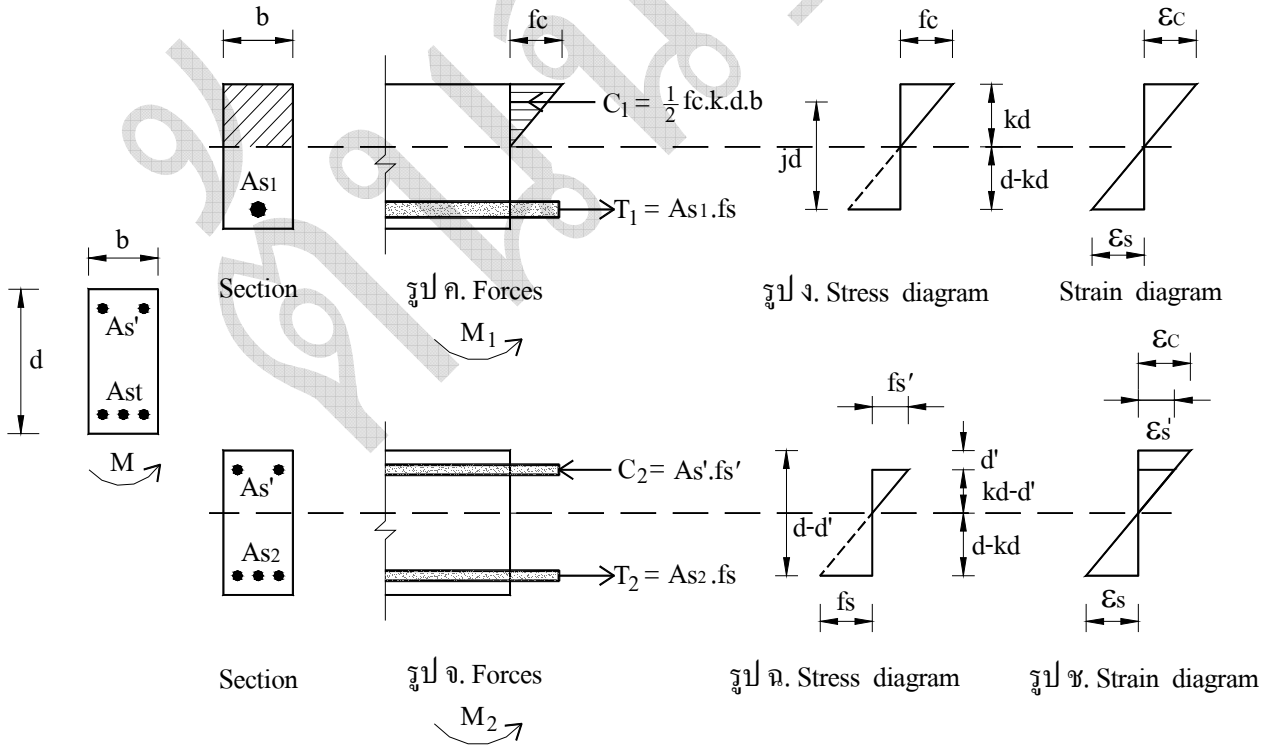
2.4 คานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด (Double reinforced rectangular beams)

ในบางครั้งการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กอาจถูกจำกัดขนาดโดยเฉพาะความลึกของคาน เนื่องจากความต้องการทางสถาปัตยกรรมหรือเหตุผลอื่นใดก็ตามซึ่งเป็นผลให้ค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตของคาน มีค่าน้อยกว่าโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อคาน (Applied moment) ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องเสริมเหล็กเข้าไปในส่วนที่รับแรงดัด (Compression zone) ทำให้หน้าตัดของคานที่มีทั้งเหล็กเสริมรับแรงดึงและเหล็กเสริมรับแรงอัด นอกจากนี้การใช้เหล็กรับแรงอัดยังช่วยลดการโก่งตัวของคาน (Deflection) ซึ่งเกิดจากการหดตัว (Shrinkage) และการล้าของคอนกรีตอีกด้วย

2.4.1 การออกแบบ (Design)

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมรับแรงดึงและรับแรงอัด เพื่อให้รับโมเมนต์ที่กระทำต่อคานได้โดยปลอดภัยนั้น หมายถึง การคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึง (A_s) และปริมาณเหล็กเสริมแรงอัด (A_s') ที่ใช้ในคาน โดยคานจะถูกกำหนดมาให้

วิธีการคำนวณ ให้โมเมนต์ที่กระทำต่อคาน (M) มีค่าเท่ากับโมเมนต์ซึ่งต้านทานโดยคอนกรีตกับเหล็กเสริมรับแรงดึงส่วนที่ 1 (M_1) บวกกับโมเมนต์ที่ต้านทานโดยเหล็กเสริมรับแรงดึงส่วนที่เหลือกับเหล็กเสริมรับแรงอัด (M_2)



รูปที่ 2.6 พฤติกรรมในการรับโมเมนต์ดัดของคานหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่เสริมเหล็กรับแรงดึงและแรงอัด

จากรูป 2.6 เป็นรูปตัดของคาน ซึ่งมีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงเท่ากับ Ast และมีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดเท่ากับ As'

จากรูป 2.6 ก เป็นรูปตัดคานซึ่งมีเหล็กเสริมรับแรงดึง คือ As_1 โดยมีค่าโมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีตกับปริมาณเหล็กเสริม เท่ากับ As_1

โมเมนต์ต้านทานโดยคอนกรีต $M_1 = \frac{1}{2} fc.k.j.bd^2$

$= Rbd^2$ (เมื่อ $R = \frac{1}{2} fc.k.j$)

<u>หาเหล็กรับแรงดึง</u> : ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงสำหรับโมเมนต์ M_1

จาก Forces และ Stress diagram $As_1 = \frac{M_1}{fs.j.d}$ สมการที่ 2.12

ดังนั้นโมเมนต์ส่วนที่เหลือ $M_2 = M - Mc$ สมการที่ 2.13

$M_2 = As_2.fs(d-d')$ สมการที่ 2.14

$\therefore$ ปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงสำหรับโมเมนต์ M_2

$As_2 = \frac{M_2}{fs(d-d')}$ สมการที่ 2.15

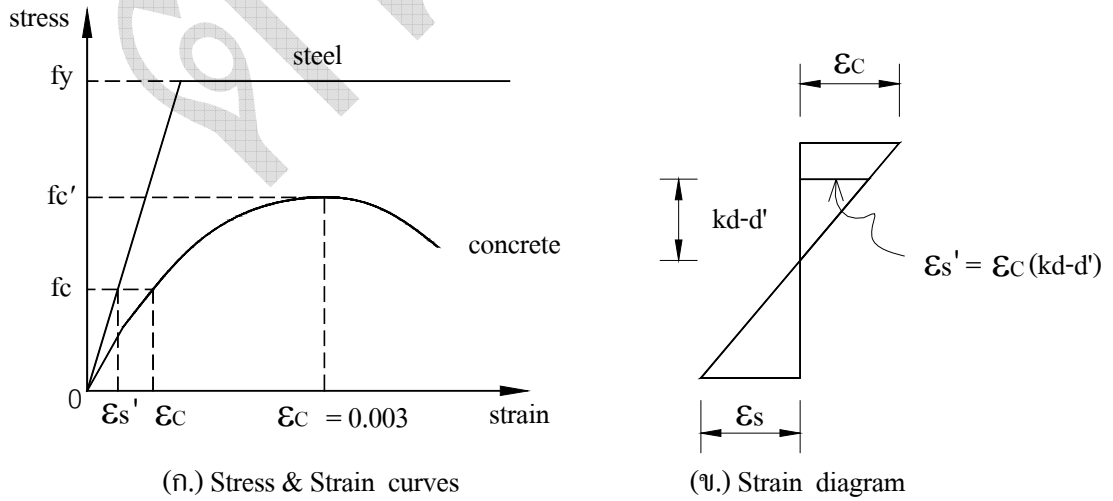
ดังนั้นเหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมด $Ast = As_1 + As_2$

หรือ $Ast = \frac{M_1}{fs.j.d} + \frac{M_2}{fs(d-d')}$ สมการที่ 2.16

<u>หาเหล็กรับแรงอัดวิธีที่ 1</u> จากรูป Stress diagram (รูป 2.6 ฉ)

$\frac{fs'}{fs} = \frac{kd-d'}{d-kd}$

$\therefore fs' = fs\left[\frac{kd-d'}{d-kd}\right]$



(ก.) Stress & Strain curves (ข.) Strain diagram

รูปที่ 2.7 (ก.) กราฟแสดงหน่วยแรงอัดและหน่วยการหดตัวของเหล็กและคอนกรีต

(ข.) ไดอะแกรมแสดงหน่วยแรงอัดของเหล็กและคอนกรีต

ค่า f_s' เป็นค่าหน่วยแรงอัดของเหล็กเสริมแรงอัดที่คำนวณได้จากทฤษฎีอีลาสติก แต่เนื่องจากคอนกรีตจะมีการหดตัวเพิ่มกว่าปกติตามช่วงเวลาภายในแรงอัดคงที่ซึ่งเรียกว่าการล้าของคอนกรีต (Creep) แต่การล้านี้ไม่ได้เกิดกับเหล็กเสริม ดังนั้นในขณะที่คอนกรีตเกิดการหดตัวเนื่องจากการล้าก็จะเกิดการถ่ายแรงจากคอนกรีตไปยังเหล็กเสริม ทำให้เหล็กเสริมรับแรงอัดมีค่าหน่วยแรงมากขึ้นกว่าที่ได้คำนวณจากทฤษฎีอีลาสติก ซึ่งจากข้อกำหนดของ ว.ส.ท. ได้ยอมให้ค่าหน่วยแรงอัด (f_c') ที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงอัด (A_s') มีค่าเป็นสองเท่าของค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีอีลาสติก แต่ต้องไม่เกินค่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้

นั้นคือ $$f_s' = f_s\left[\frac{kd - d'}{d - kd}\right]$$

ดังนั้นหน่วยแรงอัดของเหล็กเสริมรับแรงอัด จะมีค่าเป็น 2 เท่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีอีลาสติกคือ

$$f_s' = 2.f_s\left[\frac{kd - d'}{d - kd}\right] \qquad \text{สมการที่ 2.17}$$

พิจารณา Stress – strain curves (รูปที่ 2.7 ก.) จะพบว่าค่าหน่วยแรงอัดของคอนกรีตและเหล็กเสริมที่ระยะห่างจากแกนสะเทินเท่าๆ กัน จะมีค่าเท่ากัน ($f_c = f_s'$) แต่หน่วยการหดตัวจะไม่เท่ากัน โดยที่คอนกรีตจะมีการหดตัวมากกว่าเหล็กเสริมรับแรงอัด แต่จาก Strain diagram หน่วยการหดตัวของเหล็กเสริม ที่รับแรงอัดกับคอนกรีตที่ตำแหน่งเดียวกันต้องเท่ากัน ดังนั้นเหล็กเสริมที่รับแรงอัดจึงต้องหดตัวมากเพื่อให้เท่ากับการหดตัวของคอนกรีต ดังนั้นจึงทำให้เกิดหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมสูงกว่าที่ได้คำนวณจากทฤษฎีอีลาสติกนี้เป็นเหตุผลที่ทำให้เหล็กเสริมรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นกว่าค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีอีลาสติก

จากรูป 2.6 จ. การสมดุลของแรงแนวราบ ($\sum F_x = 0$)

จะได้ $$C_2 = T_2$$

หรือ $$A_s'.f_s' = A_{s_2}.f_s$$

แทนค่า fs’ ในสมการข้างบน

ดังนั้นจะได้ว่า $$A_s'.2.f_s\left[\frac{kd - d'}{d - kd}\right] = A_{s_2}.f_s$$

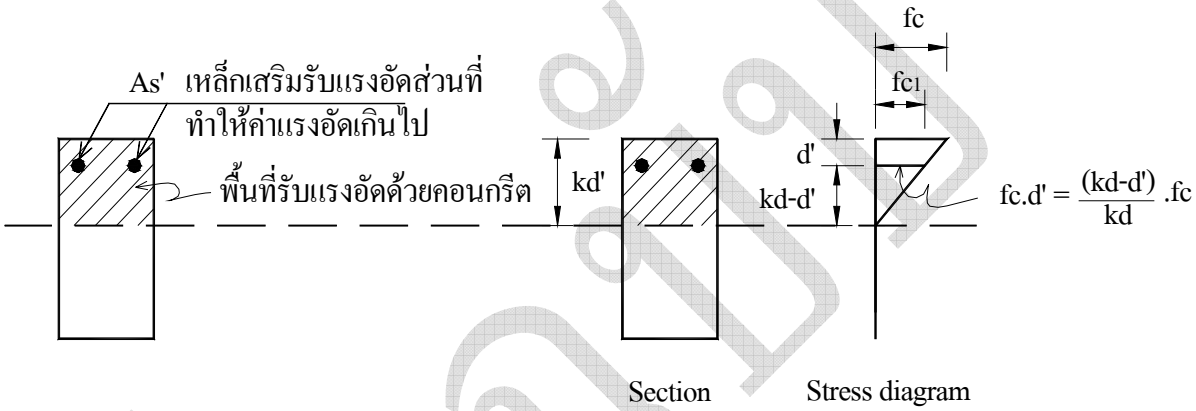
$$A_s' = \frac{1}{2}A_{s_2}\left[\frac{kd - d'}{d - kd}\right]$$

$$\therefore \quad A_s' = \frac{1}{2}A_{s_2}\left[\frac{1-k}{k - \frac{d'}{d}}\right] = k.A_{s_2} \qquad \text{สมการที่ 2.18}$$

เมื่อ $k = \frac{1}{2}\left[\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right]$

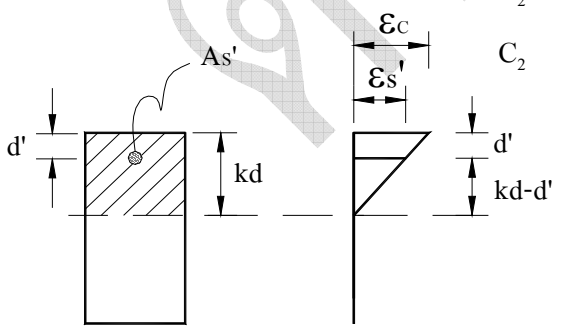
<u>หาเหล็กเสริมรับแรงอัดวิธีที่ 2</u>

เนื่องจากการคิดว่า M_1 เราคิดให้คอนกรีตรับแรงอัดเต็มพื้นที่ ($M_1 = \frac{1}{2}fc.k.j.bd^2$) โดยที่เราไม่ได้หักพื้นที่ของเหล็กเสริมรับแรงอัดที่เสริมแทนที่คอนกรีตส่วนเหล็กนั้น ทำให้ค่าแรงอัดเกินไปเท่ากับพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงอัด (As') คูณด้วยค่าหน่วยแรงอัดคอนกรีตที่จุดนั้น ดังแสดงในรูปด้านล่าง



รูปที่ 2.8 แสดงพื้นที่เหล็กเสริมรับแรงอัดส่วนที่เกิน

ดังนั้น ค่าแรงอัดโดยเหล็กเสริมที่แท้จริง จะเท่ากับ



รูปที่ 2.9 ไดอะแกรมแสดงหน่วยการหดตัวของคอนกรีตและเหล็กเสริม

$C_2 = As'.fs'$ - ค่าแรงอัดที่เกิน สมการที่ 2.19

$C_2 = As'fs' - As'.fc\left[\frac{kd-d'}{kd}\right]$ สมการที่ 2.20

จาก Strain diagram

จะได้ว่า $\frac{\varepsilon_s'}{\varepsilon_c} = \frac{kd-d'}{kd}$ สมการที่ 2.21

จาก $E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$ หรือ $\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$

$\therefore$ จะได้ว่า $\varepsilon_s' = \frac{fs'}{E_S}$

และ $\varepsilon_c = \frac{fc}{E_C}$

ค่า ε_s' , ε_c ในสมการที่ 2.21

$$\frac{fs'}{fc}\times\frac{E_c}{E_s} = \frac{kd-d'}{kd}$$

แต่ $\frac{E_c}{E_s} = \frac{1}{n}$; $\frac{fs'}{n.fc} = \frac{kd-d'}{kd}$

นั่นคือ $fs' = n.fc\left[\frac{kd-d'}{kd}\right]$

ตามข้อกำหนด ว.ส.ท. ยอมให้ค่าหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงอัด (fs') มีค่าเป็นสองเท่าของค่าที่คำนวณได้จากทฤษฎีอีลาสติก แต่ต้องไม่เกินหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (fs)

$$\therefore \quad fs' = n.fc\left[\frac{kd-d'}{kd}\right] \qquad \text{สมการที่ 2.22}$$

แทนค่า fs' ในสมการ 2.20

$$C_2 = As'.2n.fc\left[\frac{kd-d'}{kd}\right] - As'.fc\left[\frac{kd-d'}{kd}\right]$$

$$C_2 = As'.fc\left[\frac{kd-d'}{kd}\right](2n-1) \qquad \text{สมการที่ 2.23}$$

โมเมนต์ต้านทานโดย $M_2 = C_2(d-d')$

หรือ $C_2 = \frac{M_2}{(d-d')}$

แทน C_2 จากสมการที่ 2.23

$$As'.fc\left[\frac{kd-d'}{kd}\right](2n-1) = \frac{M_2}{(d-d')} \qquad \text{สมการที่ 2.24}$$

ย้ายข้างหาค่า As' และคูณ fs เข้าไปทั้งสองข้าง

$$As'.fs = \frac{M_2}{(d-d')}\times\frac{kd}{(kd-d')(2n-1)}\times\frac{fs}{fc}$$

$$As' = \frac{M_2}{fs(d-d')}\times\frac{kd}{(kd-d')(2n-1)}\times\frac{fs}{fc} \qquad \text{สมการที่ 2.25}$$

แต่ $\frac{fs}{fc} = n\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c}$ และจาก Strain diagram

จะได้ $\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c} = \frac{kd-d'}{kd}$

ดังนั้น $\frac{fs}{fc} = n\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_c} = n.\frac{(d-kd)}{kd}$

แทนค่า $\frac{fs}{fc}$ ในสมการที่ 2.25

$$As' = \frac{M_2}{fs(d-d')} \times \frac{kd}{(kd-d')(2n-1)} \times n. \frac{(d-kd)}{kd}$$

$$As' = \frac{M_2}{fs(d-d')} \times \frac{n}{(2n-1)} \times \frac{kd(d-kd)}{kd(kd-d')}$$

แต่ $$As_2 = \frac{M_2}{fs(d-d')}$$

$\therefore$ $$As' = As_2 \times \frac{n}{(2n-1)} \times \frac{(d-kd)}{(kd-d')}$$

หรือ $$As' = As_2 \times \frac{n}{(2n-1)} \times \left[\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right] \qquad \text{สมการที่ 2.26}$$

สมการที่ 2.26 ใช้หาค่าปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดในคาน (ตามวิธีที่ 2)

พิจารณา ค่า $\frac{n}{(2n-1)}$ ในสมการที่ 2.26 ค่าของ n จะมีค่าตั้งแต่ 7 ถึง 14 ซึ่งเป็นค่าของ n ที่ต่ำสุด และมากที่สุด จะเห็นได้ว่า ค่า $\frac{n}{(2n-1)}$ มีค่าตั้งแต่ 0.518 ถึง 0.538 เมื่อแทนด้วย n = 7 และ n = 14

ดังนั้นเพื่อความสะดวกค่า As' อาจใช้ค่าดังนี้

$$As' = 0.528(As_2)\left[\frac{1-k}{k-\frac{d'}{d}}\right] \qquad \text{สมการที่ 2.27}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับค่า As' ที่ได้จากสมการที่ 2.17 จะเห็นว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก

ถ้าค่าหน่วยแรงอัด (fs') ของเหล็กเสริมรับแรงอัดที่คำนวณได้จากสมการ 2.22 มีค่าเกินกว่าหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ในเหล็กเสริม (fs) แล้ว ($fs' > fs$) ให้ใช้หน่วยแรงอัดในเหล็กเสริมรับแรงอัดที่แท้จริงจากสมการ

$$fs' = fs - fc\left[\frac{k-\frac{d'}{d}}{k}\right] \qquad \text{สมการที่ 2.28}$$

และคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัด As' โดยที่

$$As' = \frac{M_2}{(d-d')} \times \frac{1}{fs - fc\left[\frac{k-\frac{d'}{d}}{k}\right]} \qquad \text{สมการที่ 2.29}$$

2.4.2 ขั้นตอนในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มีเหล็กเสริมรับแรงดึงและรับแรงอัด

ในการออกแบบคานประเภทนี้จะมีค่าที่กำหนดมาให้ คือ ขนาดหน้าตัดของคาน ค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต (fc) และเหล็กเสริม (fs) ค่าอัตราส่วนโมดูลัส (n) และเมื่อได้หาค่าโมเมนต์ดัดที่กระทำต่อคานแล้วให้ดำเนินตามขั้นตอนดังนี้

1. หาค่า k , j และ R
2. หาค่า $M_1 = \frac{1}{2} fc.k.j.bd^2 = Rbd^2$
3. หาค่า $As_1 = \frac{M_1}{fs.j.d}$
4. หาค่า $M_2 = M_{max} - M_1$
5. หาค่า $As_2 = \frac{M_2}{fs(d - d')}$
6. หาค่าปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงทั้งหมดที่จะใช้

$$Ast = As_1 + As_2$$

7. ตรวจสอบค่าหน่วยแรงอัดของเหล็กเสริมรับแรงอัดโดย

$$fs' = 2n.fc\left[\frac{k - \frac{d'}{d}}{k}\right]$$

ถ้า $fs' < fs$ ให้คำนวณหาค่าปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดโดย

$$As' = As_2 \times \frac{n}{(2n - 1)} \times \left[\frac{1 - k}{k - \frac{d'}{d}}\right]$$

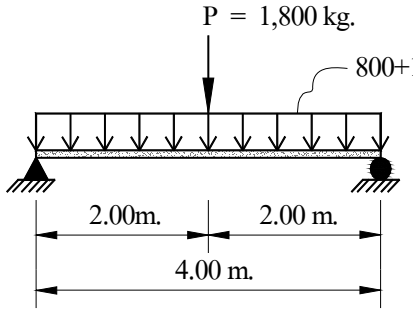
ถ้า $fs' > fs$ ให้คำนวณหาค่าปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดโดย

$$As' = \frac{M_2}{(d - d')} \times \frac{1}{fs - fc\left[\frac{k - \frac{d'}{d}}{k}\right]}$$

ตัวอย่างที่ 2.5 การออกแบบคาน

จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดหน้าตัดของคาน 0.20 x 0.40 m. เป็นคานช่วงเดี่ยว ยาว 4.00 m. รับน้ำหนักบรรทุกแผ่เท่ากับ 800 kg./m. ตลอดคาน และน้ำหนักกดเป็นจุดที่กลางคาน เท่ากับ 1,800 kg. กำหนดให้ f_c' = 150 ksc. fs = 1,500 ksc. n = 11

<u>วิธีทำ</u> ให้ d = 0.35 ; d' = 0.05



ตัวอย่างที่ 2.6 การออกแบบคาน

จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดหน้าตัดของคาน 0.25 x 0.70 m. มีโมเมนต์กระทำต่อคาน 18,000 kg-m. (รวมน้ำหนักคานแล้ว) กำหนดให้ fc = 70 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 11

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

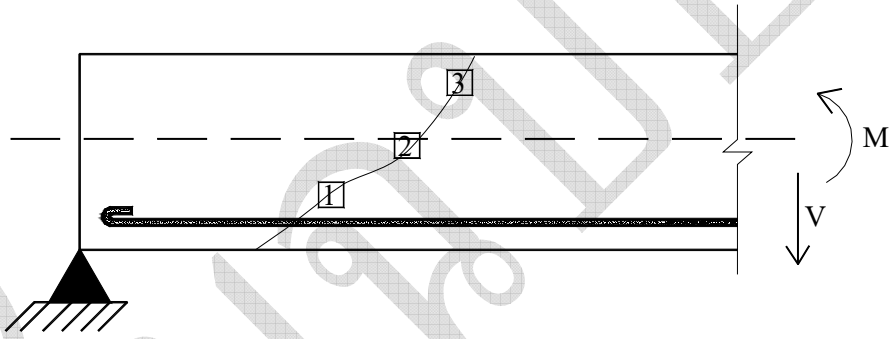
ลิขสิทธิ์

2.5 แรงดึงทะแยง , แรงเฉือน และแรงยึดเหนี่ยวในคาน (Diagonal tension , Shear and bond in beams)

ในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กนอกจากจะต้องออกแบบให้คานรับโมเมนต์ดัดได้แล้ว ยังต้องออกแบบให้คานสามารถรับแรงเฉือนและแรงดึงทะแยงได้อีกด้วย การชำรุดของคานอันเนื่องมาจากแรงเฉือนโดยลำพังแล้วจะไม่ถึงกับทำให้คานถึงกับชำรุดได้ แต่การชำรุดของคานโดยมากจะเกิดขึ้นในลักษณะแรงดึงทะแยง (Diagonal tension)

ซึ่งถ้าจะออกแบบคานโดยให้คอนกรีตรับแรงดึงทะแยงได้นั้น หน้าตัดของคานก็จะมีขนาดหน้าตัดใหญ่มากซึ่งไม่ประหยัด ดังนั้นถ้าจะให้คานมีขนาดหน้าตัดไม่ใหญ่จนเกินไป จึงต้องเสริมเหล็กช่วยรับแรงดังกล่าวที่เกิดขึ้น (Web reinforcement)

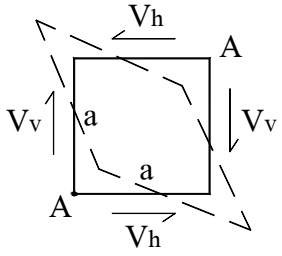
2.5.1 แรงดึงทะแยงในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก (Diagonal tension)



รูปที่ 2.9 แสดงพฤติกรรมการเกิดแรงดึงทะแยงในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก

พิจารณารูปที่ 2.9 เป็นคานคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีน้ำหนักกระทำบนคานในแนวดิ่ง และพิจารณาแท่งลูกบาศก์ 1 , 2 และ 3 ที่มีขนาดหน้าตัด a x a โดยมีขนาดเล็กมากอยู่ในตำแหน่งใต้แกนสะเทิน (แท่งลูกบาศก์ 1) ที่แกนสะเทิน (แท่งลูกบาศก์ 2) และเหนือแกนสะเทิน (แท่งลูกบาศก์ 3)

<u>พิจารณาแท่งลูกบาศก์ที่ 1</u> ที่ตำแหน่งใต้แนวแกนสะเทิน



รูปที่ 2.10

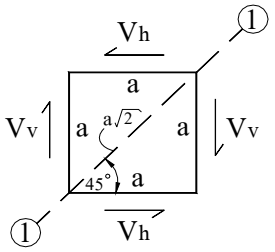
จากสมการ $\Sigma M_A = 0$

$V_v \times a \times$ ความหนา $= V_h \times a \times$ ความหนา

$\therefore \quad V_V = V_h$

$\therefore$ หน่วยแรงเฉือนในแนวราบ (V_h) ที่เกิดขึ้นบนแท่งลูกบาศก์จะเท่ากับหน่วยแรงเฉือนในแนวดิ่ง (V_V)

<u>พิจารณาแท่งลูกบาศก์ที่ 2</u> ที่ตำแหน่งแนวแกนสะเทิน



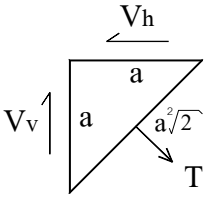
หาแรงดึงทะแยง T

ตัดตามแนว 1-1 ทำมุม 45°

$\therefore$ ด้านทะแยงมีพื้นที่ = $(a\sqrt{2} \times a)$

= $a^2\sqrt{2}$

รูปที่ 2.11 (ก) พิจารณา รูปที่ 2.10 ข.



รูปที่ 2.11 (ข)

$\Sigma F = 0$

$T^2 = V_V^2 + V_h^2$ สมการที่ 2.30

จากสูตร แรง = หน่วยแรง x พื้นที่ ($P = \sigma.A$)

$\therefore$ ถ้ากำหนดให้ t = หน่วยแรงดึงทะแยง

V = หน่วยแรงเฉือน

แทนค่า $P = \sigma.A$ ลงในสมการ 2.30

$$\left[t.(a^2\sqrt{2})\right]^2 = (V_V \times a^2)^2 + (V_h \times a^2)^2$$

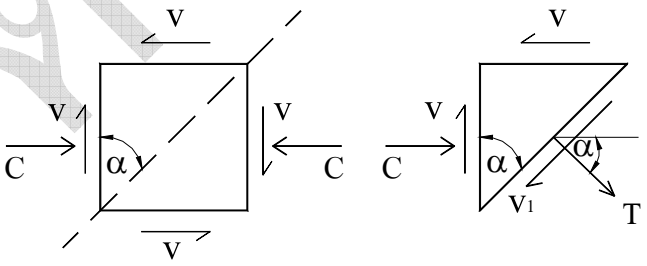
แต่หน่วยแรงเฉือนในแนวดิ่งและแนวราบมีค่าเท่ากัน $V_V = V_h$

$$\therefore \quad t^2.a^4.2^2 = V^2.a^4 + V^2.a^4$$

ดังนั้น $t = V$ สมการที่ 2.31

$\therefore$ ที่ตำแหน่งแกนสะเทินหน่วยแรงดึงทะแยง (t) ในแนว 45° กับแกนสะเทินจะเท่ากับหน่วยแรงเฉือน (V) ในแนวดิ่งและในแนวราบ

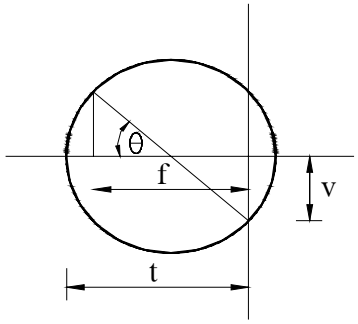
<u>พิจารณาแท่งลูกบาศก์ที่ 3</u> ที่ตำแหน่งเหนือแกนสะเทิน



(ก.) (ข.)

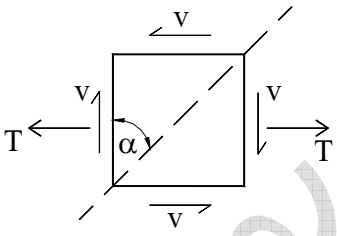
รูปที่ 2.12 รูปลูกบาศก์เหนือแกนสะเทิน

พิจารณาจากรูปลูกบาศก์เหนือแกนสะเทินจะเกิดแรงอัด C ทำให้เกิดหน่วยแรงดัด f ซึ่งถ้าหาค่า ของแรงดึงทะแยงจากรูปโดยการเขียน Mohr'circle จะได้

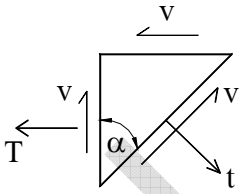


$$-t = \frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^2}{4} + v^2} \qquad \text{สมการที่ 2.32}$$

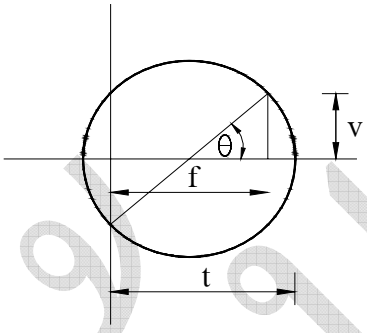
จากรูปลูกบาศก์ ที่ 1



รูปที่ 2.13 (ก.)



รูปที่ 2.13 (ข.)



$$t = \frac{f}{2} + \sqrt{\frac{f^2}{4} + v^2} \qquad \text{สมการที่ 2.33}$$

และมีทิศทาง $\tan 2\theta = \frac{2v}{f}$ สมการที่ 2.34

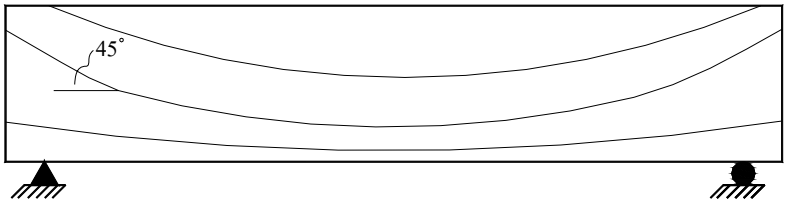
โดย f = หน่วยแรงดัด , ksc.

v = หน่วยแรงเฉือน , ksc.

α = มุมที่หน่วยแรงดึงทะแยงทำกับแนวราบ เป็นองศา

t = หน่วยแรงดึงทะแยง , ksc.

หน่วยแรงดึงทะแยงเหล่านี้เป็นสาเหตุทำให้คานคอนกรีตแตกร้าว ในทิศทางเดียวกับแนวราบ เนื่องจากคอนกรีตมีความต้านทานแรงดึงได้น้อย โดยเฉพาะที่ฐานรองรับซึ่งโมเมนต์ดัดมีค่าเป็นศูนย์ และค่าแรงเฉือนในแนวดิ่งมีค่าสูงสุด ฉะนั้นแรงดึงทะแยงที่ฐานรองรับจึงเอียงเป็นมุม 45° กับแนวราบทุกระดับความลึกของคาน



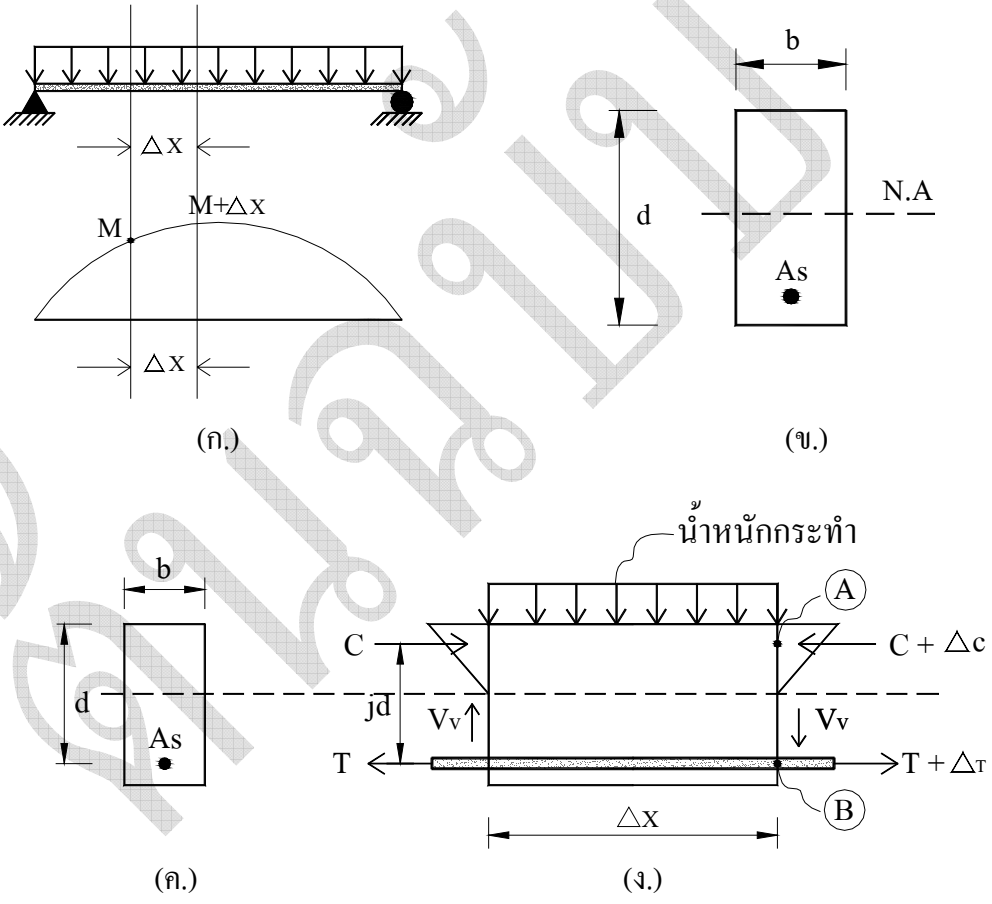
รูปที่ 2.14 แสดงรอยแตกร้าวของคานที่เกิดจากหน่วยแรงดึงทะแยง

2.5.2 หน่วยแรงเฉือน Shearing stresses

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อให้รับแรงเฉือนนั้น ไม่เหมือนกับคานที่ใช้วัสดุอื่นทั่วๆ ไป เนื่องจากคานคอนกรีตเสริมเหล็ก มิใช่วัสดุประเภทยืดหยุ่นและเป็นเนื้อเดียวอย่างแท้จริง

ดังนั้นจึงไม่สามารถคำนวณค่าแรงเฉือนจากสมการ $v = \frac{VQ}{Ib}$ ได้สมการสำหรับหน่วยแรงเฉือนเป็นสมการที่ได้จากผลการทดลอง ซึ่งเหมาะสำหรับการออกแบบด้วยทฤษฎีกำลังประลัย แต่เมื่อนำมาใช้กับทฤษฎีอีลาสติก ก็ควรให้มีความปลอดภัยโดยการลดค่าหน่วยแรงที่ยอมให้ลง

พิจารณาคานซึ่งถูกน้ำหนักกระทำ ดังรูป ขนาดหน้าตัดของคาน = b x d



รูปที่ 2.15 แสดงค่าต่างๆ ของคานเมื่ออยู่ภายใต้แรงเฉือน

จากรูปที่ 2.15 (ง.) ด้านซ้ายเกิดแรงอัด = C และแรงดึง = T

ด้านขวาเกิดแรงอัด = $C + \Delta_C$ แรงดึง = $T + \Delta_T$

และรูปที่ 2.15 (ง.) จะต้องมีแรงเฉือน V บาลานซ์ (Balances) กับแรง Δ_T, Δ_C (Shear forces must be balances the forces Δ_T, Δ_C)

$\therefore$ จากสมการ $\sum F_X = 0$ จะได้ว่า $\Delta_C = V$ หรือ $\Delta_T = V$

ถ้าคานกว้าง b ยาวเท่ากับ Δ_X

$\therefore$ พื้นที่ $= b \times \Delta_X$

จาก $\Delta_T = V$

หรือ $\Delta_C = V$

จากสูตร $P = \sigma . A$

$\therefore$ $\Delta_T = v.b.\Delta_X$; $\Delta_C = v.b.\Delta_X$ สมการที่ 2.35

Take moment ที่จุด A ของรูปที่ 2.15 (ง.)

จะได้ $V_V . \Delta_X = \Delta_T . j.d$

$$\Delta_T = \frac{V_V . \Delta_X}{j.d}$$ สมการที่ 2.36

สมการ 2.35 = 2.36 ; $v.b.\Delta_X = \frac{V_V . \Delta_X}{j.d}$

$$\therefore \quad v = \frac{V_V}{b.j.d}$$

จากสมการ $v = \frac{V_V}{b.j.d}$ นี้ ACI และ ASCE ได้แนะนำให้ใช้ค่า Shearing stress (v) ในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก เพื่อต้านทาน Shear และ Diagonal tension โดยใช้สมการใหม่ คือ

$v = \frac{V_V}{b.d}$ สำหรับคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สมการที่ 2.37

เมื่อ v = หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น , ksc.

V_V = แรงเฉือนในแนวดิ่งที่หน้าตัดของคานที่พิจารณา , kg.

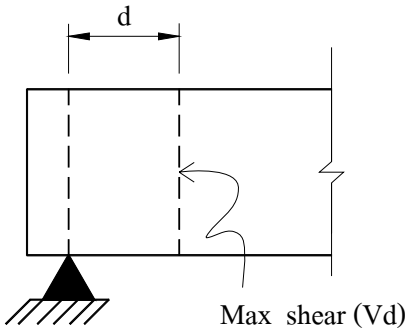
b = ความกว้างของคานคอนกรีต , cm.

d = ความลึกประสิทธิผลของคาน , cm.

และ $v = \frac{V_V}{b'.d}$ สำหรับคานรูปตัว T สมการที่ 2.38

เมื่อ b' = ความกว้างของคานตัว T , cm.

หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน ที่หาได้จากสมการที่ 2.37 จะต้องไม่เกินหน่วยแรงเฉือนของคานคอนกรีตที่รับได้ ในการออกแบบคานให้ถือว่าหน่วยแรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้นจะเกิดที่หน้าตัดของคานซึ่งห่างจากขอบฐานรองรับ เป็นระยะ d



รูปที่ 2.16 แสดงตำแหน่งหน่วยแรงเฉือนสูงสุด

2.5.2.1 ความต้านทานแรงเฉือนของคานคอนกรีต คานคอนกรีตก็มีส่วนต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้ด้วย โดยที่หน่วยแรงเฉือนที่ต้านทานโดยคอนกรีตล้วน ๆ ของคาน มีค่า

$$v_C = 0.29\sqrt{fc'} \qquad \text{สมการที่ 2.39}$$

เมื่อ v_C = หน่วยแรงเฉือนที่ต้านทานโดยคอนกรีต , ksc.

2.5.2.2 เหล็กเสริมรับแรงเฉือน (Web reinforcement , Stirrups and bent-up bars)

เมื่อคานคอนกรีตไม่สามารถรับแรงเฉือนได้อย่างเพียงพอ ก็จำเป็นต้องใส่เหล็กให้ช่วยรับแรงเฉือนในส่วนที่เกินนั้น โดยที่

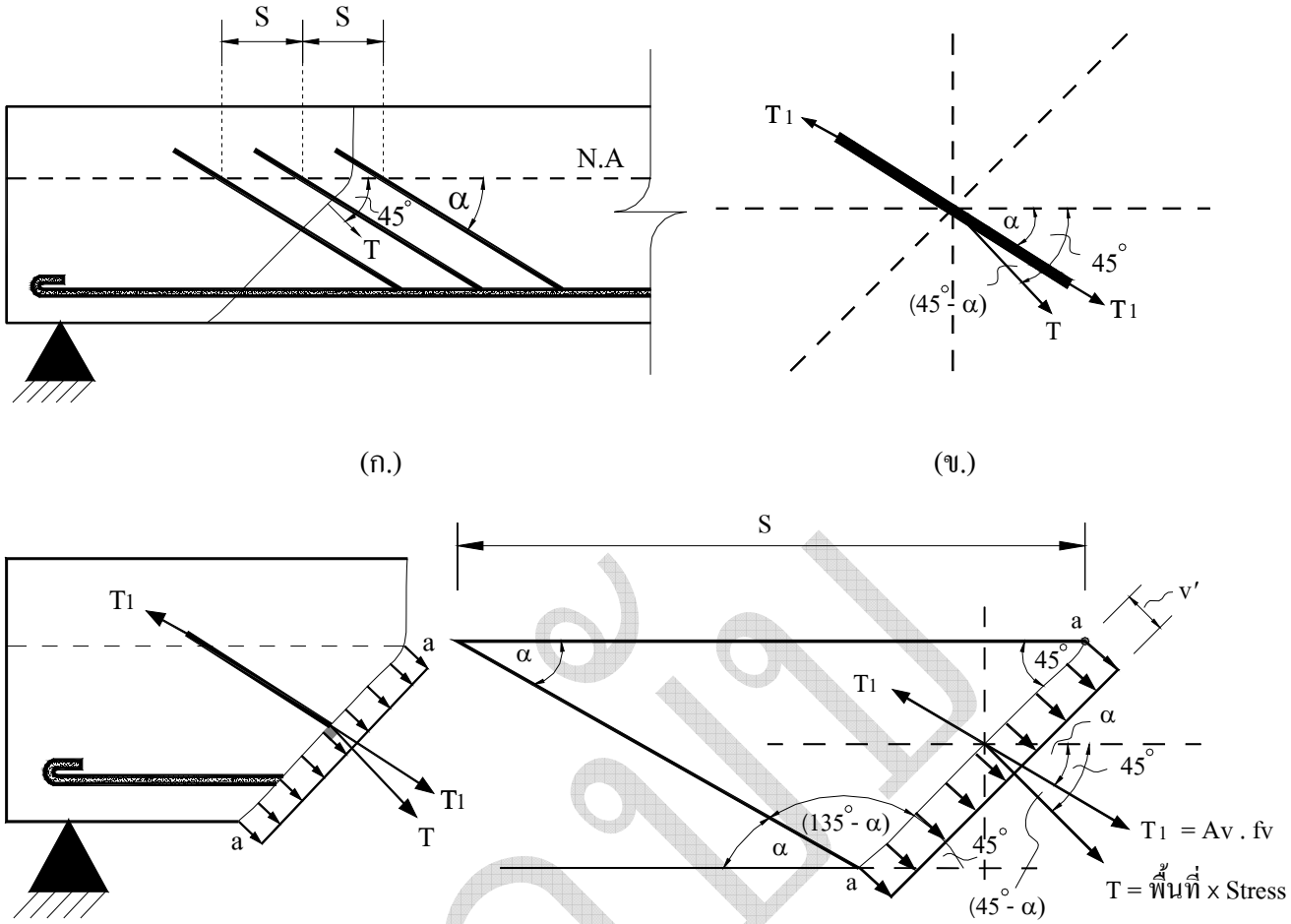
$$V' = V_V - V_C \qquad \text{สมการที่ 2.40}$$

เมื่อ V_C = v_c.b.d = แรงเฉือนที่คานคอนกรีตสามารถรับแรงไว้ได้ ,kg.

V_V = แรงเฉือนที่เกิดขึ้นทั้งหมดหรือแรงเฉือนที่คานต้องรับไว้หมด,kg.

V' = แรงเฉือนที่ต้านทานโดยการเสริมเหล็กรับแรงเฉือน, kg.

หรือ V' = v.b.d



รูปที่ 2.17 แสดงลักษณะของแรงเฉือนที่เกิดขึ้นในคาน

พิจารณารูปที่ 2.17 (ก.) แสดงการเสริมเหล็กเพื่อต้านทานแรงเฉือน โดยเสริมเหล็กวางเป็นมุม α กับแนวนอน วางเรียงห่างกันตามแนวนอนเป็นระยะ S

แรงดึง T เป็นแรงดึงทะแยงที่เกิดขึ้น ณ หน้าตัดของคาน ทำมุม 45 ° กับแนวแกนสะเทิน

แรงดึง T_1 เป็นแรงดึงที่เกิดขึ้นกับเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (เหล็กปลอก) จากรูป 2.17 (ข.) แตกแรง T_1 ให้อยู่ในแนวแกนของแรง T

$$\therefore \quad T_1\cos(45-\alpha) = T$$

จาก $\cos(A-B) = \cos A.\cos B + \sin A.\sin B$

$$\therefore \quad \cos(45-\alpha) = \cos 45.\cos\alpha + \sin 45.\sin\alpha$$

แทน $T_1(\cos 45.\cos\alpha + \sin 45.\sin\alpha) = T$

$$T_1\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\cos\alpha + \frac{1}{\sqrt{2}}\sin\alpha\right) = T$$

$$T_1.\frac{1}{\sqrt{2}}(\cos\alpha + \sin\alpha) = T \qquad \text{สมการที่ 2.41}$$

พิจารณารูปที่ 2.17 (ค.)

$T_1 = A_V.fv$ (แรง = พื้นที่ x หน่วยแรง)

เมื่อ T_1 = แรงดึงที่เกิดขึ้นในเหล็กเสริมรับแรงดึงทะแยง

A_V = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึงทะแยง

fv = หน่วยแรงดึงทะแยงในเหล็กเสริมรับแรงดึงทะแยง = fs

แทนค่า $T_1 = A_V.fv$ ในสมการ (2.41)

$$T.\frac{A_V.fv}{\sqrt{2}}(\cos\alpha+\sin\alpha) = T \qquad \text{สมการที่ 2.42}$$

จากรูป 2.17 (ง.)

T = พื้นที่ x หน่วยแรง

$= (aa) \times b \times v'$

$T = S.\cos 45° \times b \times v'$

$$\therefore \quad T = S.\frac{b}{\sqrt{2}}.v' \qquad \text{สมการที่ 2.43}$$

สมการที่ 2.42 = 2.43

$$\frac{A_V.fv}{\sqrt{2}}(\cos\alpha+\sin\alpha) = S.\frac{b}{\sqrt{2}}.v'$$

$$S.b.v' = A_V.fv(\cos\alpha+\sin\alpha)$$

คูณ d ทั้งสองข้าง

$$S.b.v'.d = A_V.fv.d(\cos\alpha+\sin\alpha)$$

$$\therefore \quad S = \frac{A_V.fv.d(\cos\alpha+\sin\alpha)}{v'.bd}$$

จาก $v' = \frac{V'}{bd}$; เมื่อ v' เป็นหน่วยแรงเฉือนส่วนที่เกินมาที่ต้องเสริมเหล็ก (ksc.)

หรือ $V' = v'.bd$ แทนค่า v'

จะได้ $$S = \frac{A_V.fv.d(\cos\alpha+\sin\alpha)}{V'}$$ สมการที่ 2.44

สมการ 2.44 ใช้สำหรับหาระยะห่างของเหล็กปลอก

ถ้าวางเหล็กปลอกให้เอียง 45° กับแนวแกนสะเทิน $\therefore \alpha = 45°$

จะได้ $$S = \frac{A_V.fv.d(\cos 45+\sin 45)}{V'}$$

$$S = \frac{A_V.fv.d\left(\frac{1}{\sqrt{2}}+\frac{1}{\sqrt{2}}\right)}{V'}$$

$$S = \frac{\sqrt{2}.A_V.fv.d}{V'} \qquad \text{สมการที่ 2.45}$$

และถ้าวางเหล็กปลอกตั้งฉากกับแนวแกนสะเทิน ; $\therefore \alpha = 90^\circ$

$$S = \frac{A_V.fv.d(\cos 90 + \sin 45)}{V'}$$

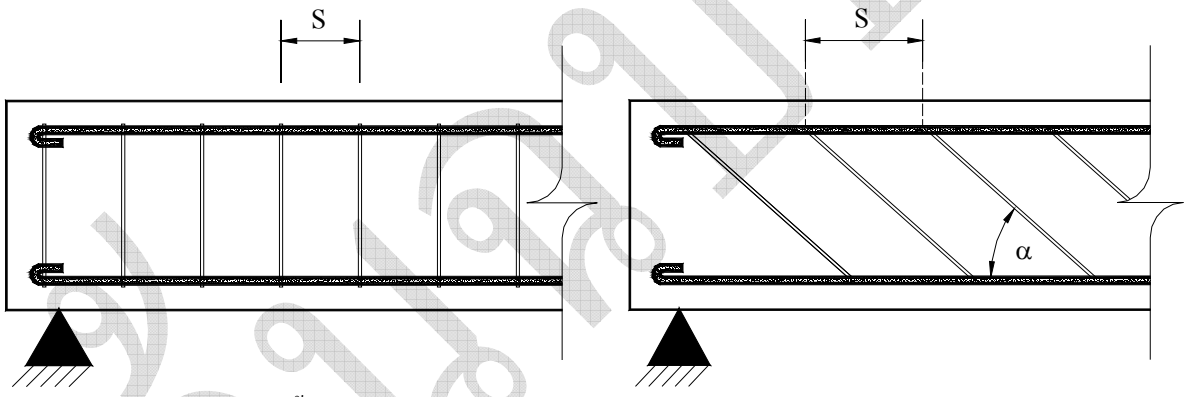
$$S = \frac{A_V.fv.d(0+1)}{V'}$$

$$\therefore \quad S = \frac{A_V.fv.d}{V'} \qquad \text{สมการที่ 2.46}$$

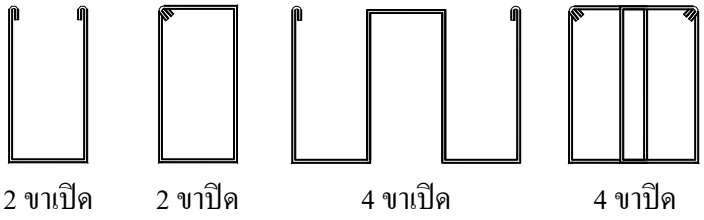
สมการที่ 2.46 ใช้หาระยะห่างของเหล็กปลอก เมื่อวางเหล็กปลอกตั้งฉากกับแนวแกนสะเทิน

2.5.2.3 เหล็กเสริมรับแรงเฉือน แบ่งออกเป็น

1. เหล็กลูกตั้ง (Stirrup) โดยปกติจะเป็นเหล็กขนาด 6 mm. หรือ 9 mm. มีลักษณะดังรูป 2.18 โดยผูกติดกับเหล็กเสริมทางยาว หรือวางตั้งฉากกับแนวนอนของคาน หรืออาจจะวางเอียงทำมุมกับแนวของคาน ดังรูป

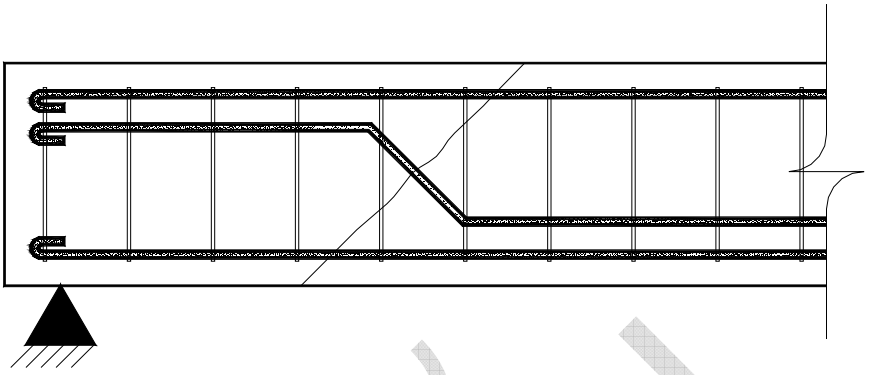


รูปที่ 2.18 แสดงรูปแบบการวางของเหล็กลูกตั้ง



รูปที่ 2.19 แสดงลักษณะของเหล็กลูกตั้ง (Stirrup)

2. เหล็กคอม้า (Bent up bars) เป็นเหล็กที่ดัดขึ้นจากเหล็กเสริมรับแรงดึงที่จุดที่มีปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงมากเกินความต้องการ เพื่อทำหน้าที่ช่วยรับแรงเฉือน อาจจะมีหนึ่งเส้นหรือหลายเส้นก็ได้



รูปที่ 2.20 แสดงลักษณะของเหล็กคอม้า

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดการใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน ดังนี้

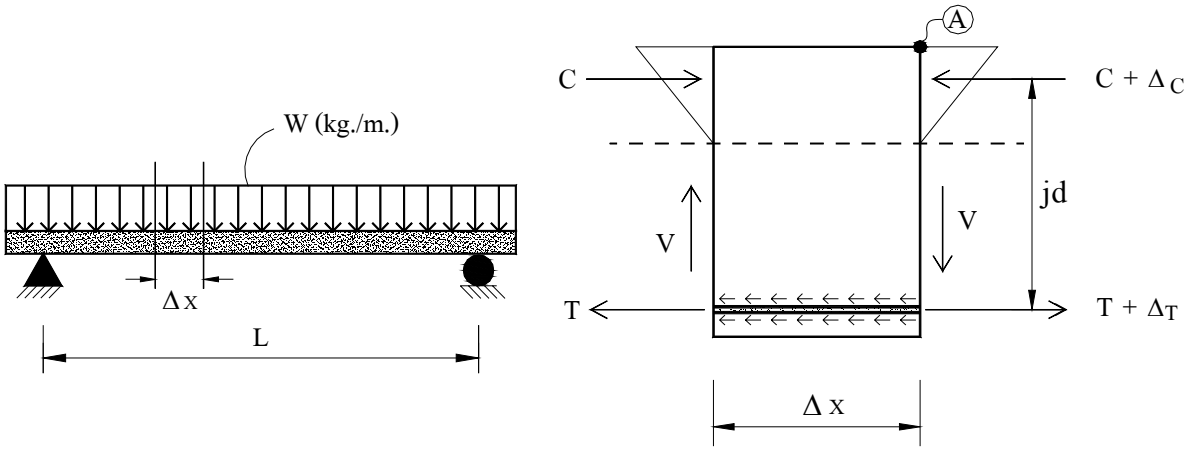
1. หน่วยแรงดึงในเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (fv) ให้ใช้ตามข้อกำหนดเดียวกับเหล็กเสริมรับโมเมนต์ (fs) $\therefore$ [fv = fs]

2. หน่วยแรงเฉือน v จะต้องไม่เกิน $1.32\sqrt{fc'}$ สำหรับเหล็กเสริมรับแรงเฉือน

3. บริเวณที่ต้องใช้เหล็กเสริมรับแรงเฉือน จะต้องจัดให้มีระยะเรียงของเหล็กเสริม S ไม่เกิน $\frac{d}{2}$ และเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน (Av) ต้องมากกว่า 0.0015.b.S และถ้าหน่วยแรงเฉือนเกินกว่า $0.795\sqrt{fc'}$ ระยะเรียงเหล็กเสริม S ต้องมีระยะเรียงไม่เกิน $\frac{d}{4}$

2.5.3 แรงยึดเหนี่ยว (Bond stress)

ในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก คอนกรีตและเหล็กเสริมซึ่งเกาะติดกันจะทำหน้าที่ต้านทานแรงร่วมกัน ซึ่งจะทำให้เกิดการถ่ายแรงซึ่งกันและกันในวัสดุทั้งสอง การจ่ายแรงนี้จะทำให้เหล็กเสริมพยายามเลื่อนตัวออกจากคอนกรีตที่เกาะติดอยู่เรื่อย ๆ หน่วยแรงที่ต้านทานไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวของเหล็กออกจากคอนกรีต เรียกว่า หน่วยแรงยึดเหนี่ยว (Bond stress)



(ก.) (ข.)

รูปที่ 2.21 แสดงพฤติกรรมการเกิดแรงยึดเหนี่ยวในคาน

$\therefore$ Δx น้อยมาก V ด้านซ้าย $\approx$ V ด้านขวา

จากรูป 2.21 $\Sigma M_A = 0$

$V.\Delta_X - \Delta_T.jd = 0$ สมการที่ 2.47

$\Sigma F_X = 0$; (พิจารณาใต้แกนสะเทิน)

โดยที่ Δ_T = แรงยึดเหนี่ยวระหว่างเหล็กกับคอนกรีต

= $\Delta_X \times$ เส้นรอบรูปของเหล็ก $\times$ หน่วยแรงยึดเหนี่ยว

$\Delta_T = \Delta_X \times \Sigma o \times u$

เมื่อ Σo = ผลรวมของเส้นรอบวงของเหล็กเสริมทางยาว , cm.

u = หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้น , ksc.

จากสมการที่ 2.47

$V.\Delta_X = \Delta_T.jd$

แทนค่า $\Delta_T = \Delta_X \times \Sigma o \times u$ ในสมการ 2.47

$\therefore$ $V.\Delta_X = \Delta_X.\Sigma o.u.jd$

$\therefore$ $u = \dfrac{V}{\Sigma o.j.d}$ สมการที่ 2.48

สมการที่ 2.48 ใช้หาค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นระหว่างเหล็กเสริมกับคอนกรีต

หรือ $\Sigma o = \dfrac{V}{u.j.d}$

เมื่อ V = แรงเฉือนในแนวดิ่ง , kg.

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดค่าหน่วยแรงยึดเหนี่ยวในอาคารที่รับแรงดัด ได้ดังนี้

(Allowable bond stress in beam)

1. สำหรับเหล็กบนรับแรงดึง

$$u = 1.145\frac{\sqrt{fc'}}{D} \leq 11.0 \text{ ksc.} \quad \text{(เหล็กเส้นกลม)}$$

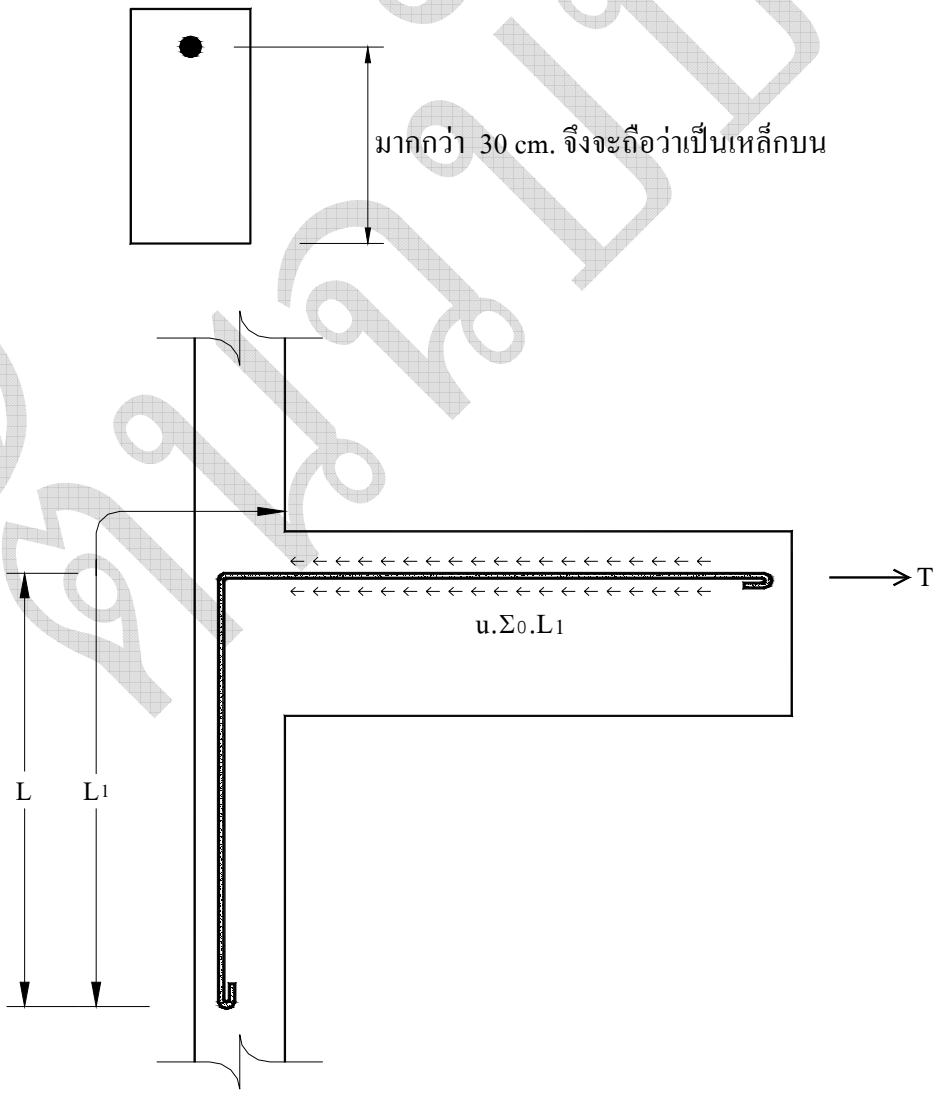
$$u = 2.29\frac{\sqrt{fc'}}{D} \leq 25.0 \text{ ksc.} \quad \text{(เหล็กข้ออ้อย)}$$

2. สำหรับเหล็กอื่นที่ไม่ใช่เหล็กบน

$$u = 1.615\frac{\sqrt{fc'}}{D} \leq 11.0 \text{ ksc.} \quad \text{(เหล็กเส้นกลม)}$$

$$u = 3.23\frac{\sqrt{fc'}}{D} \leq 35.0 \text{ ksc.} \quad \text{(เหล็กข้ออ้อย)}$$

เหล็กบน หมายถึง เหล็กที่มีคอนกรีตอยู่ใต้ผิวลงไปไม่น้อยกว่า 30 cm.



รูปที่ 2.22 แสดงระยะฝังของเหล็กเสริมที่ทำหน้าที่รับแรงยึดเหนี่ยว (Anchorage length)

เหล็กเสริมตามแนวยาวของคานจำเป็นต้องมีระยะฝังที่มากพอในคานยื่น เพื่อไม่ให้คานเกิดการชำรุดด้วยสาเหตุแรงยึดเหนี่ยวไม่เพียงพอ

พิจารณารูป 2.21 ให้ D เป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม

$\therefore$ พื้นที่ $A_s = \frac{\pi D^2}{4}$

เส้นรอบวง $\Sigma o = \pi D$

- แรงดึงที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเหล็กเสริม $T = A_s.f_s$

แทนค่า A_s , Σo $T = \frac{\pi D^2}{4}.f_s$

- แรงยึดเหนี่ยวของคอนกรีต $U = \Sigma o.u.L_1$

จากการสมดุลย์ของแรง $T = U$

$\therefore$ $\frac{\pi D^2}{4}.f_s = \Sigma o.u.L_1$

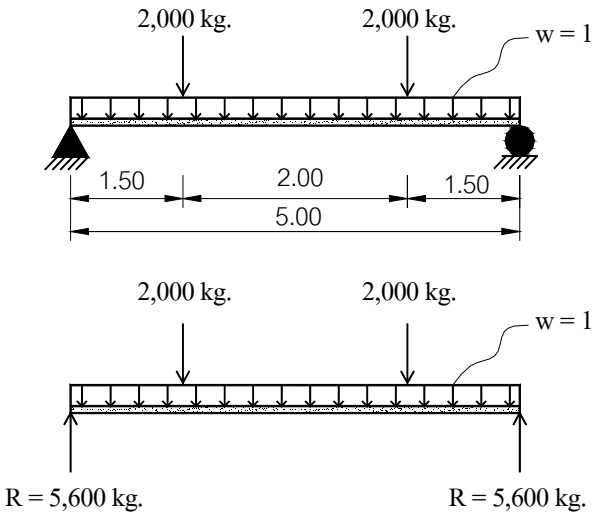
$\frac{\pi D^2}{4}.f_s = \pi D.u.L_1$

$\therefore$ $L_1 = \frac{D.f_s}{4u}$ สมการที่ 2.49

เมื่อสมการที่ 2.49 ใช้สำหรับหาระยะฝังของเหล็กในคานยื่น

ตัวอย่างที่ 2.7

จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ช่วงยาว 5.00 m. มีน้ำหนักกระทำดังรูป กำหนดให้ n = 12 f_c' = 133 ksc. fs = 1,400 ksc. fv = 1,200 ksc. ขนาดหน้าตัดคาน 0.20 x 0.50 m.

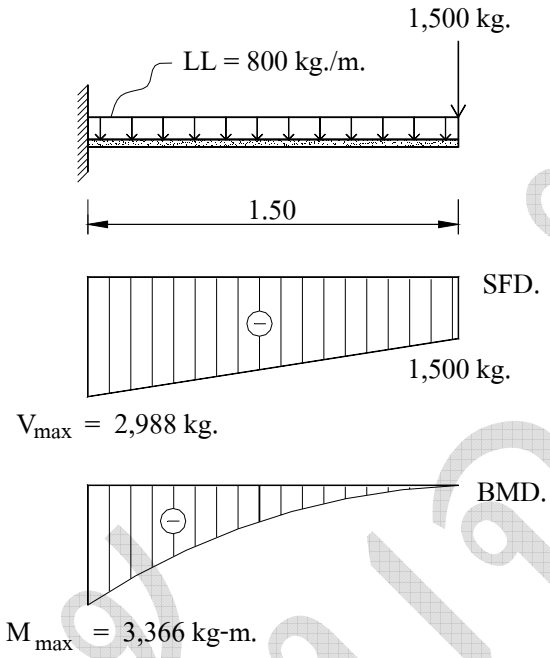


.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

ตัวอย่างที่ 2.8

จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ชนิดคานยื่น (Cantilever beam) ยาว 1.50 m. มีน้ำหนักกระทำเป็นจุดที่ปลายคาน 1,500 kg. และน้ำหนักบรรทุกแผ่ 800 kg./m. กำหนดให้ n = 13 fc = 50 ksc. fs = 1,200 ksc.

<u>วิธีทำ</u>



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

2.6 คานต่อเนื่อง (Continuous beam)

การออกแบบคานต่อเนื่อง หมายถึง การออกแบบคานที่มีช่วงคานตั้งแต่สองช่วงขึ้นไป การวิเคราะห์คานต่อเนื่อง เพื่อคำนวณหาค่าของโมเมนต์และแรงเฉือน เพื่อใช้ในการออกแบบหาขนาดและปริมาณเหล็กเสริมของคานนั้นค่อนข้างยุ่งยากและเสียเวลามาก เพื่อให้การออกแบบคานต่อเนื่องได้ง่ายขึ้น มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดค่าประมาณของโมเมนต์และแรงเฉือนเพื่อใช้สำหรับออกแบบคานต่อเนื่อง โดยให้ใช้ได้สำหรับคานที่มีช่วงตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไป และช่วงคานเกือบเท่ากัน ความแตกต่างของช่วงคานต้องไม่เกิน 1.2 เท่า และน้ำหนักบรรทุกเป็นน้ำหนักบรรทุกแผ่กระจายสม่ำเสมอตลอดความยาวคาน และน้ำหนักบรรทุกจรมากกว่าน้ำหนักบรรทุกคงที่ไม่เกิน 3 เท่า ($LL \geq 3\,DL$)

โมเมนต์และแรงเฉือน ตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 5201

โมเมนต์บวก

คานช่วงนอก :

- ปลายไม่ยึดรั้งกับที่รองรับ $\frac{1}{11}wL'^2$
- ปลายหล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ $\frac{1}{14}wL'^2$

คานช่วงใน : $\frac{1}{16}wL'^2$

โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในแรก

- เมื่อมีช่วงคานต่อเนื่องกัน 2 ช่วง $\frac{1}{9}wL'^2$
- เมื่อมีช่วงต่อเนื่องกันมากกว่า 2 ช่วง $\frac{1}{10}wL'^2$

โมเมนต์ที่ขอบของที่รองรับตัวในอื่นๆ $\frac{1}{11}wL'^2$

โมเมนต์ลบที่ขอบของที่รองรับทุกแห่งสำหรับ

- แผ่นพื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.00 ม. $\frac{1}{12}wL'^2$
- คานที่มีอัตราส่วนผลรวมของสติฟเนสของเสาต่อของคานที่มาบรรจบกันมากกว่า 8 $\frac{1}{12}wL'^2$

โมเมนต์ลบที่ขอบในของที่รองรับตัวริมและองค์อาคารหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ

- เมื่อที่รองรับเป็นคานขอบ $\frac{1}{24}wL'^2$
- เมื่อที่รองรับเป็นเสา $\frac{1}{16}wL'^2$

แรงเฉือน

- แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวในแรก $1.15\frac{wL'}{2}$
- แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวอื่นๆ $\frac{wL'}{2}$

โดยที่ w = น้ำหนักบรรทุกชนิดแผ่เท่ากันตลอดคาน , kg./m.

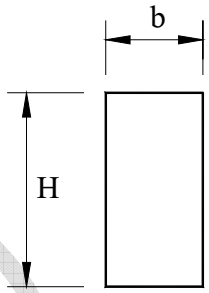
L = ช่องว่างระหว่างเสา , m.

2.6.1 การหาน้ำหนักบรรทุกถ่ายลงบนคาน

น้ำหนักบรรทุกบนคาน อาจมีน้ำหนักดังนี้

1. น้ำหนักของตัวคานเอง
2. น้ำหนักจากแผ่นพื้น
3. น้ำหนักจากผนัง
4. น้ำหนักจากคานฝาก

2.6.1.1 น้ำหนักของคาน



$DL = b.H.\gamma_C$ kg./m.

γ_C = หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเสริมเหล็ก = 2,400 kg./m.^{3}

2.6.1.2 น้ำหนักจากแผ่นพื้น

- จากแผ่นพื้นแบบ One way slab ให้คิดครึ่งหนึ่งของความกว้างของห้องแต่ละซีกของคาน

- จากแผ่นพื้นแบบ Two way slab ให้ถือว่าน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงบนคานรองรับ คือ น้ำหนักที่อยู่ภายในแผ่นพื้นของช่วงพื้นซึ่งล้อมรอบโดยลากเส้น 45 องศา จากมุมทั้งสี่ตัดกับเส้นกึ่งกลางของช่วงพื้นที่ขนานกับด้านยาว

อาจหาค่าประมาณของโมเมนต์ดัดได้โดยใช้น้ำหนักเฉลี่ยต่อเมตรของคาน สำหรับช่วงพื้นและช่วงที่มีการรองรับ ดังนี้

น้ำหนักจากพื้นลงบนคานด้านสั้น $W_S = \frac{wS}{3}$

น้ำหนักจากพื้นลงบนคานด้านยาว $W_L = \frac{wS}{3}.\frac{\left(3-m^2\right)}{2}$

เมื่อ

w = น้ำหนักบรรทุกทั้งหมดของแผ่นพื้น , kg./m.

$$m = \frac{\text{ความยาวด้านสั้น}}{\text{ความยาวด้านยาว}} = \frac{S}{L}$$

2.6.1.3 น้ำหนักจากผนัง การกระจายน้ำหนักจากผนังหรือกำแพงลงบนคาน

$$w = w'.h$$

เมื่อ w = น้ำหนักของกำแพงที่ลงบนคาน , kg./m.

w' = หน่วยน้ำหนักของกำแพง , $kg./m.^2$

h = ความสูงของกำแพง , m.

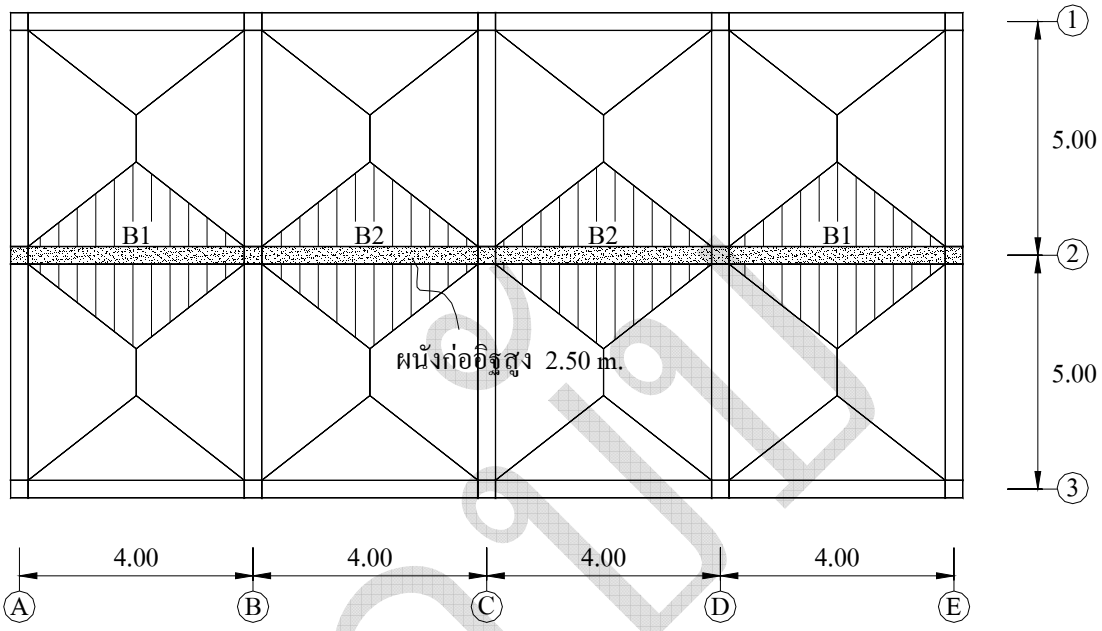
ตารางที่ 2.1 ค่าน้ำหนักของกำแพงต่อหน่วยพื้นที่ของกำแพง

ชนิดผนังกำแพง	w' $(kg./m.^2)$
ผนังอิฐมอญก่ออิฐครึ่งแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	180
ผนังอิฐมอญก่ออิฐเต็มแผ่นฉาบปูนเรียบ 2 ด้าน	360
ผนังคอนกรีตบล็อค หนา 7 ซม.	120
ผนังคอนกรีตบล็อค หนา 9 ซม.	160
ฝาไม้ ไม้อัดรวมเคร่า	12 – 30
ฝาเซลโลกรีต รวมเคร่าหรือแกนฟางอัด	30
ดินซีเมนต์ขนาดเท่าอิฐบล็อค	170
ผนังอิฐ บางปะกง ก่ออิฐครึ่งแผ่น	220
ผนังอิฐ บางปะกง ก่ออิฐเต็มแผ่น	240

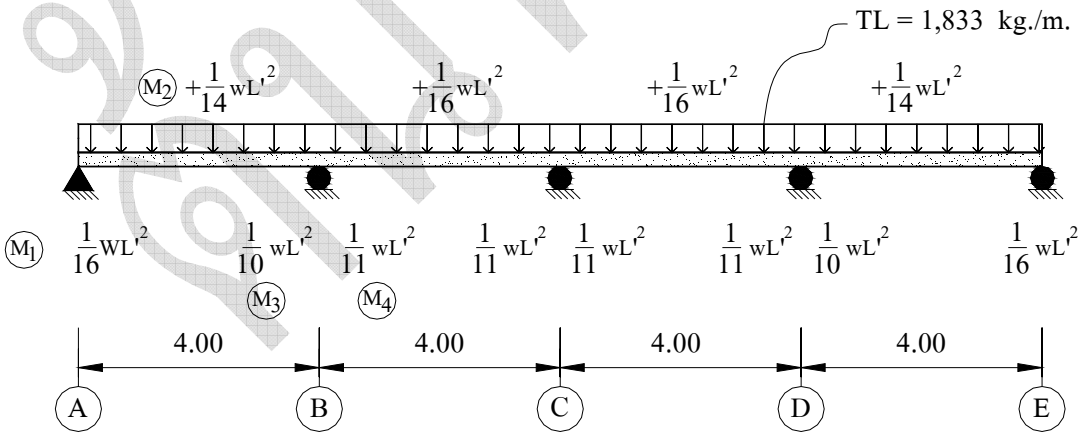
2.6.1.4 น้ำหนักจากคานฝาก_ หมายถึง น้ำหนักกระทำเป็นจุดของคานช่วงภายในที่ถ่ายน้ำหนัก (Reaction) ลงมายังคานตัวหลัก

ตัวอย่างที่ 2.9

จงออกแบบคานต่อเนื่อง (B1 , B2) 4 ช่วง ยาวช่วงละ 4.00 m. ซึ่งต้องรับน้ำหนักจากแผ่นพื้นหนา 0.10 m. มีน้ำหนักบรรทุกจรเท่ากับ 200 kg./m.^{2} และมีผนังก่ออิฐมอญครึ่งแผ่นสูง 2.50 m. กำหนดให้ f_c' = 133 ksc. fy = 2,400 ksc. n = 13 ขนาดของเสารับคาน 0.20 x 0.20 m.



<u>วิธีทำ</u> เปิดตารางค่าสัมประสิทธิ์ของ วสท.



.....

.....

.....

.....

.....

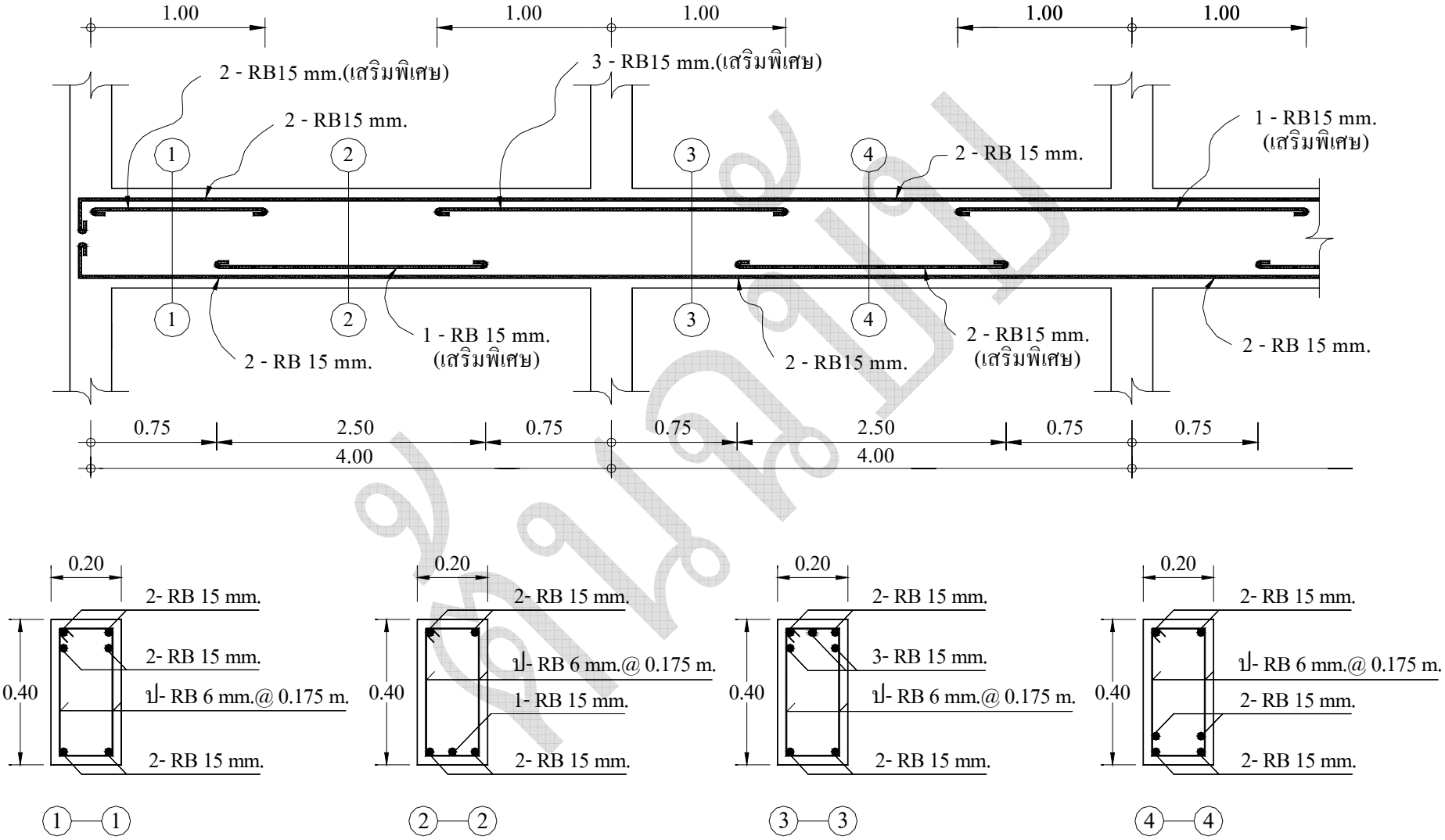
.....

.....

.....

.....

.....


1.00
1.00
1.00
1.00
1.00
2 - RB15 mm.(เสริมพิเศษ)
3 - RB15 mm.(เสริมพิเศษ)
2 - RB15 mm.
1 - RB15 mm.
(เสริมพิเศษ)
2 - RB 15 mm.
1
2
3
4
2 - RB 15 mm.
1 - RB 15 mm.
(เสริมพิเศษ)
2 - RB15 mm.
2 - RB15 mm.
(เสริมพิเศษ)
2 - RB 15 mm.
0.75
2.50
0.75
0.75
2.50
0.75
0.75
4.00
4.00
0.20
2- RB 15 mm.
2- RB 15 mm.
ป- RB 6 mm.@ 0.175 m.
2- RB 15 mm.
0.40
1 — 1
0.20
2- RB 15 mm.
ป- RB 6 mm.@ 0.175 m.
1- RB 15 mm.
2- RB 15 mm.
0.40
2 — 2
0.20
2- RB 15 mm.
3- RB 15 mm.
ป- RB 6 mm.@ 0.175 m.
2- RB 15 mm.
0.40
3 — 3
0.20
2- RB 15 mm.
ป- RB 6 mm.@ 0.175 m.
2- RB 15 mm.
2- RB 15 mm.
0.40
4 — 4

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

1. จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีช่วงคานยาว 4.00 m. ช่วงเดียว รับน้ำหนัก 1,600 kg./m. กำหนดให้ fc = 60 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 12

2. จงออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่มี 2 ช่วงต่อเนื่องกัน ยาวช่วงละ 4.00 m. รับน้ำหนักผนังและพื้น ค.ส.ล. รวมทั้งน้ำหนักจร 1,200 kg./m. กำหนดให้ f_c' = 135 ksc. fs = 1,200 ksc.

ตัวอย่าง

แผนบริหารการสอนประจำหน่วยที่ 3

เวลาที่ใช้สอน 9 ชั่วโมง

หัวข้อเนื้อหาประจำหน่วย

1. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว
2. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง
3. การกระจายน้ำหนักจากพื้นสู่คาน

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ออกแบบคำนวณพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวได้อย่างถูกต้อง
2. ออกแบบคำนวณพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทางได้อย่างถูกต้อง
3. เข้าใจการกระจายน้ำหนักจากพื้นสู่คานได้อย่างถูกต้อง

แนวคิดในการสอน

เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบคำนวณพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง และเข้าใจการกระจายน้ำหนักจากพื้นสู่คาน ได้อย่างถูกต้อง

วิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บอกจุดประสงค์การเรียนรู้
2. สอนแบบบรรยาย
3. นักเรียนได้เรียนรู้และจดบันทึก
4. ครู นักเรียน สรุป ทบทวนความรู้ความเข้าใจ
5. นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อ Power point
2. สื่อแผ่นใส
3. เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. แบบฝึกหัดท้ายบท

การวัดผลและประเมินผล

1. การตอบคำถาม และการอภิปราย
2. การทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ห้ามจำหน่าย

หน่วยที่ 3
พื้นคอนกรีตเสริมเหล็ก (Slab)

แผ่นพื้น (Slab) เป็นโครงสร้างที่ทำหน้าที่รับน้ำหนักบรรทุกโดยตรง มีคานเป็นฐานรองรับ 2 ด้าน หรือทั้ง 4 ด้าน พื้นคอนกรีตจะมีผิวหน้าเรียบและส่วนผิวล่างมักจะเป็นแผ่นเรียบขนานกับผิวหน้าของพื้น พื้นคอนกรีตลักษณะนี้เรียกว่า พื้นคอนกรีตแบบตัน (Solid slab) พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กแบ่งออกได้หลายชนิด ดังนี้

1. แผ่นพื้นทางเดียว (One way slab) เป็นแผ่นพื้นที่มีที่รองรับเพียง 2 ด้าน อยู่ตรงกันข้ามกัน อาจจะเป็นช่วงเดียวหรือต่อเนื่องกัน

2. แผ่นพื้นสองทาง (Two way slab) เป็นแผ่นพื้นที่มีที่รองรับทั้ง 4 ด้าน พื้นชนิดนี้มักเป็นพื้นแบบสี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้ากว้าง ที่มีอัตราส่วนด้านสั้นต่อด้านยาวน้อยกว่า 2

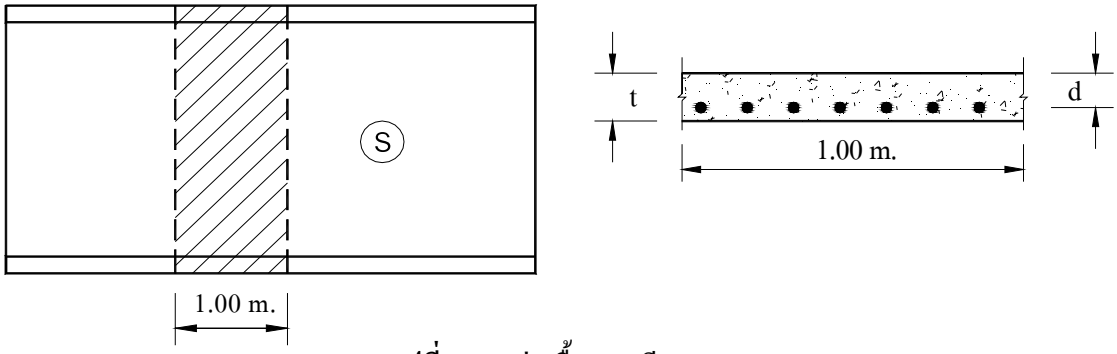
3. แผ่นพื้นระบบตง (Joint slab) เป็นแผ่นพื้นที่ใช้คานซอย (ตง) แบ่งช่วงแผ่นพื้นเป็นช่วงสั้นๆ พื้นชนิดนี้รับน้ำหนักบรรทุกจรได้มาก

4. แผ่นพื้นไร้คาน (Flab slab) เป็นแผ่นพื้นสองทางชนิดหนึ่ง ซึ่งไม่มีคานเป็นที่รองรับแต่จะถ่ายน้ำหนักลงบนเสาโดยตรง อาจจะแป้นหัวเสา (Drop panel) หรือถ้าไม่มีแป้นหัวเสา (With out drop panel) เรียกว่า Flab plate

5. แผ่นพื้นแบบรังผึ้ง(Waffle) เป็นแผ่นพื้นสองทางแบบแผ่นพื้นไร้คาน แต่ใช้คานซอยเล็กๆ วางสองทางตั้งฉากกัน เพื่อช่วยในการลดน้ำหนักของแผ่นพื้น

3.1 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว (One way slab)

พื้นคอนกรีตแบบนี้มีคานทำหน้าที่เป็นฐานรองรับพื้นเพียง 2 ด้าน ใช้กับห้องที่มีด้านยาว (L) ยาวกว่าด้านกว้าง (B) ตั้งแต่ 2 ขึ้นไป $\frac{L}{B} > 2$ การออกแบบพื้นชนิดนี้จะพิจารณาออกแบบให้พื้นเป็นคานกว้าง 1 เมตร วางพาดบนคานที่รองรับ ซึ่งคานจะวางขนานตามความยาวของพื้น (ดังรูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 แผ่นพื้นทางเดียว

น้ำหนักบรรทุกบนพื้นจะมีน้ำหนักบรรทุกจร น้ำหนักบรรทุกของวัสดุที่มาปูบนพื้น และน้ำหนักของพื้นเอง ซึ่งรวมทั้งหมดเป็นน้ำหนักบรรทุกรวมที่มากระทำหรือบรรทุกบนพื้น โดยคิดเป็นน้ำหนักบรรทุกแผ่ มีหน่วยเป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร

เหล็กเสริมเอก (Main steel) ที่คำนวณได้จะวางในทิศทางด้านสั้นหรือตั้งฉากกับคานรองรับ และต้องมีเหล็กเสริมกันร้าวหรือเหล็กเสริมต้านทานการยืดหดตัว จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 6 มม. ห่างกันไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของพื้น ปริมาณเหล็กเสริมต้านทานการหดตัวจะมีค่าดังนี้

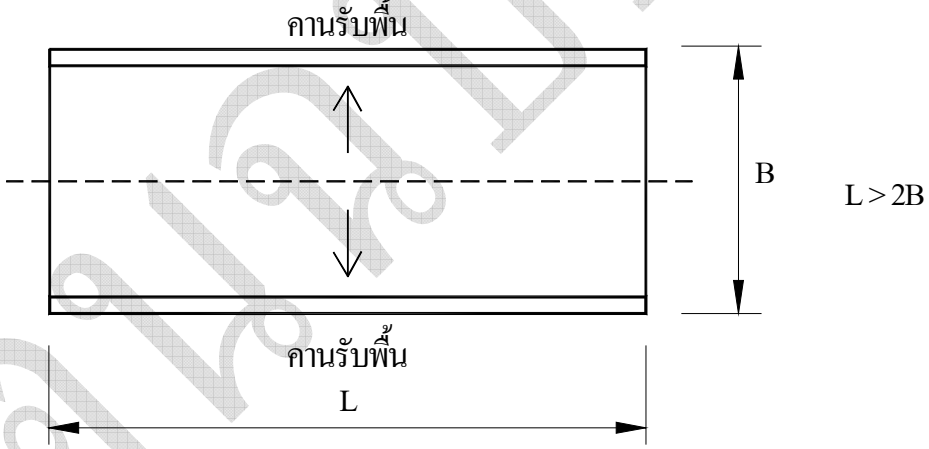
ก. แผ่นพื้นที่เสริมด้วยเหล็กกลม = 0.0025 เท่าของพื้นที่หน้าตัดแผ่นพื้น

Ast = 0.0025bt

ข. แผ่นพื้นที่เสริมด้วยเหล็กข้ออ้อย = 0.0020 เท่าของพื้นที่หน้าตัดแผ่นพื้น

Ast = 0.0020bt

การกระจายน้ำหนักของแผ่นพื้นทางเดียวให้คิดครึ่งหนึ่งของความกว้างของช่วงพื้นลงบนคานของแต่ละด้าน (ดังรูปที่ 3.2)



รูปที่ 3.2 การกระจายน้ำหนักของแผ่นพื้นทางเดียว

ขั้นตอนการออกแบบพื้นแบบ One way slab

เมื่อทราบแล้วว่าพื้นที่จะออกแบบนั้นเป็นพื้นแบบเสริมเหล็กทางเดียวแล้วให้เริ่มขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. หาค่า k, j และ R
2. หาความหนาต่ำสุดของพื้นโดยไม่ต้องตรวจสอบระยะโก่งตัว ตามข้อกำหนด (t) ของ ว.ส.ท. 4500 และหาความลึกประสิทธิผล (d) ; d = t - ระยะหุ้มของคอนกรีต
3. หาน้ำหนักบรรทุกรวม TL = DL+LL kg./m.^{2}

4. หาโมเมนต์ที่เกิดขึ้น เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกรวม

5. ตรวจสอบความลึกประสิทธิผลของพื้น $d = \sqrt{\frac{M}{Rb}}$ ต้องน้อยกว่า d จากข้อ 2.

6. หาปริมาณเหล็กเสริม $As = \frac{M}{fs.j.d}$

7. หาปริมาณเหล็กเสริมกันร้าว $Ast = 0.0025bt$ (สำหรับเหล็กกลม)

$Ast = 0.0020bt$ (สำหรับเหล็กข้ออ้อย)

8. ตรวจสอบแรงเฉือนที่ขอบรองรับ หน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ของคอนกรีต $\sigma = \frac{V}{bd}$ ต้องไม่เกิน $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$ ksc.

9. ตรวจสอบแรงยึดเหนี่ยว หน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้นต้องไม่เกินหน่วยแรงยึดเหนี่ยวที่ยอมให้ $u = \frac{V}{\Sigma o.j.d}$ ต้องไม่เกิน u allowable

ตัวอย่างที่ 3.1 จงออกแบบแผ่นพื้นที่มีความยาว 6.00 m. กว้าง 2.50 m. รับน้ำหนักบรรทุกจร 300 kg./m.^{2} กำหนดให้ fc = 60 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 12

<u>วิธีทำ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

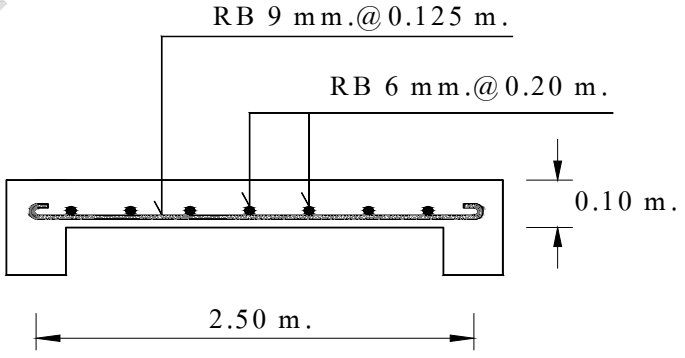
.....

.....

.....

.....

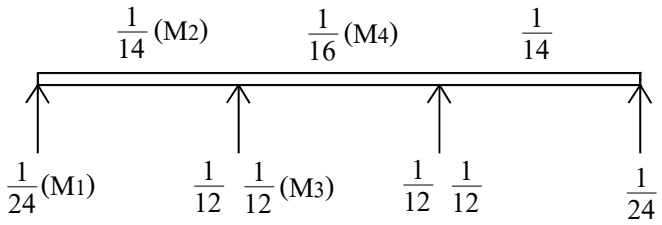
.....



แสดงการเสริมเหล็กพื้น One way slab

ตัวอย่างที่ 3.2 จงออกแบบพื้นทางเดียวแบบต่อเนื่อง 3 ช่วง ยาวช่วงละ 3.00 m. รับน้ำหนักบรรทุกจร 400 kg./m.^{2} กำหนดให้ fc = 45 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 14 ความกว้างของคานที่รองรับกว้าง 0.20 m.

<u>วิธีทำ</u>



L' = 3.00 - 0.20 = 2.80 m.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

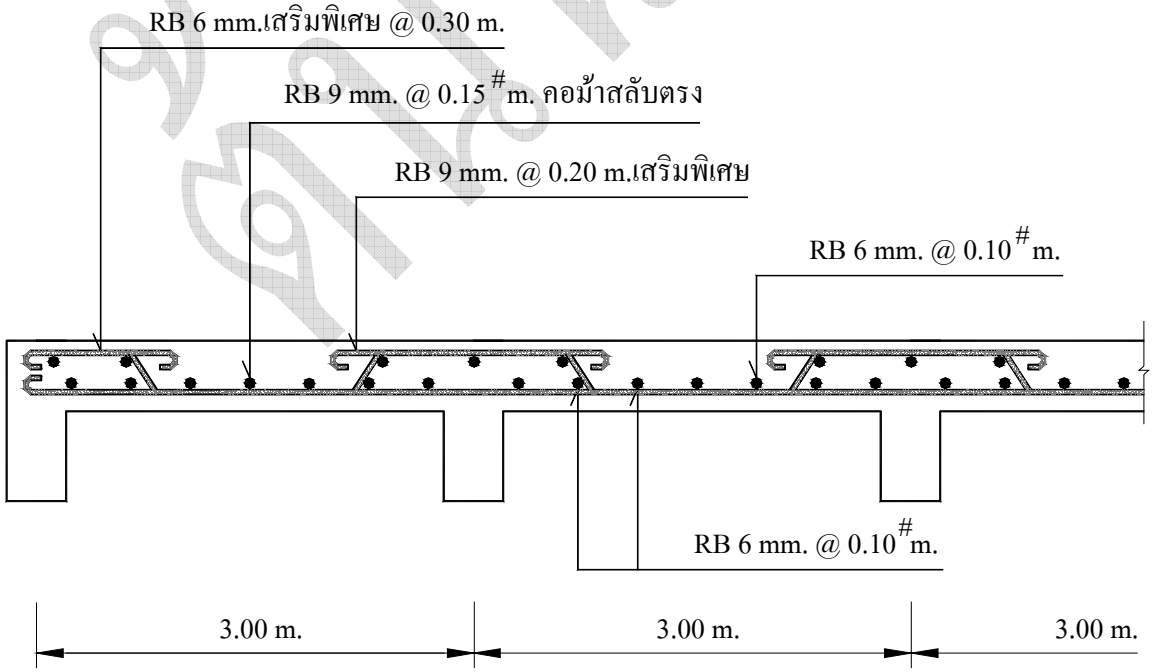
.....

.....

.....

.....

.....

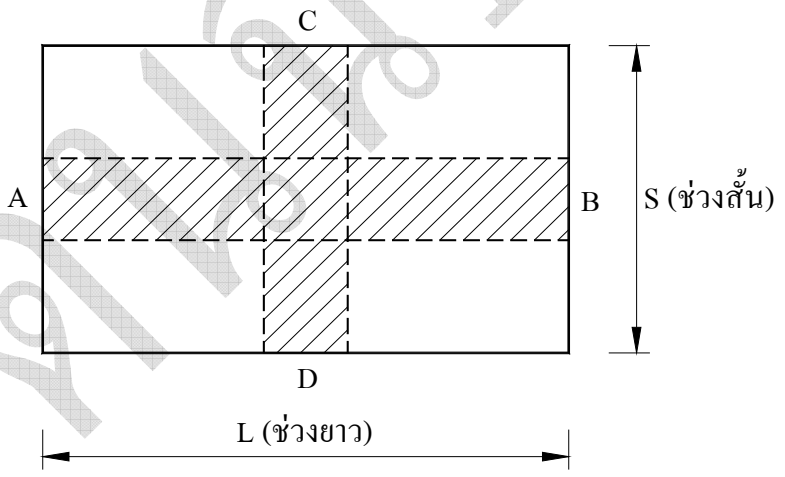


แสดงการเสริมเหล็กพื้น One way slab แบบต่อเนื่อง

3.2 พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กสองทาง (Two way slab)

แผ่นพื้นชนิดนี้จะมีการเสริมเหล็กให้รับแรงสองทาง อาจเป็นพื้น ค.ส.ล. ตัน หรือประกอบด้วยตงคอนกรีตสองทางแซมด้วยอิฐโปร่ง หรือกล่องคอนกรีต แผ่นพื้นชนิดนี้จะต้องมีคานหรือกำแพงรองรับทุกด้าน พื้นคอนกรีตแบบเสริมเหล็กสองทางนี้เหมาะสำหรับพื้นห้องที่มีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีด้านยาวเกือบเท่ากัน กล่าวคือ มีอัตราส่วนของด้านยาวต่อด้านสั้น $\frac{L}{S} < 2$

การออกแบบแผ่นพื้นแบบนี้ให้พิจารณาว่าพื้นกว้าง 1 เมตร ทั้งทางช่วงสั้นและช่วงยาว สำหรับน้ำหนักแผ่เป็นกิโลกรัมต่อตารางเมตร ซึ่งคิดแบบเดียวกันกับพื้นคอนกรีตที่เสริมเหล็กทางเดียว แต่น้ำหนักแผ่ที่จะใช้คำนวณออกแบบทั้งทางช่วงสั้นและช่วงยาวจะต้องแปลงค่าโดยใช้สัมประสิทธิ์สำหรับโมเมนต์มาคูณน้ำหนักแผ่เสียก่อน ค่าสัมประสิทธิ์สำหรับโมเมนต์นี้ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่างช่วงสั้นต่อช่วงยาว และความต่อเนื่องของพื้นรอบๆ ด้านทั้งสี่รองรับพื้น



สมมุติว่าน้ำหนักแผ่ที่รับโดยแถบ AB ทางช่วงยาวของแผ่นพื้นมีค่าเท่ากับ W_L และน้ำหนักแผ่ที่รับโดยแถบ CD ทางช่วงสั้นของแผ่นพื้นมีค่าเท่ากับ W_S จะได้ว่าเนื่องจากระยะโก่งในแนวดิ่งของพื้นที่จุดกึ่งกลางเมื่อคำนวณจากทางช่วงยาว (AB) หรือจากทางช่วงสั้น (CD) จะต้องมีค่าเท่ากัน

ดั้งนั้น $\frac{5W_L L^4}{384EI} = \frac{5W_S L^4}{384EI}$

$\therefore \frac{W_L}{W_S} = \frac{S^4}{L^4}$

หรือ $W_L = \frac{S^4}{L^4}.W_S$ สมการที่ 3.1

$W_S = \frac{L^4}{S^4}.W_L$ สมการที่ 3.2

แต่ $W = W_L + W_S$ = น้ำหนักบรรทุกแผ่ทั้งหมด

แทนค่า W_L , W_S ในสมการที่ 3.1 และ 3.2

จะได้ $W_L = \frac{S^4}{L^4}.(W - W_L)$

$W_L = \frac{S^4}{L^4}.W - \frac{S^4}{L^4}.W_L$

$W_L + \frac{S^4}{L^4}.W_L = \frac{S^4}{L^4}.W$

$W_L\left(1+\frac{S^4}{L^4}\right) = \frac{S^4}{L^4}.W$

$W_L\left(\frac{L^4+S^4}{L^4}\right) = \frac{S^4}{L^4}.W$

$\therefore W_L = \left(\frac{S^4}{L^4+S^4}\right).W$;

$W_S = \left(\frac{L^4}{L^4+S^4}\right).W$

ถ้า L = S จะได้ว่า $W_L = W_S$

และ L = 1.5 S „ W_L = 0.165 W ; W_S = 0.835 W

L = 2 S „ W_L = 0.059 W ; W_S = 0.941 W

จะเห็นได้ว่าน้ำหนักแผ่ทางช่วงสั้นมีค่ามากกว่าทางช่วงยาวเสมอ สำหรับแผ่นพื้นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สำหรับพื้นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสนั้นน้ำหนักแผ่จะมีค่าเท่ากันทั้งสองทาง ทั้งนี้ก็เพื่อให้การโก่งในแนวดิ่งของพื้นแต่ละจุดเมื่อคำนวณจากทางช่วงสั้นกับทางช่วงยาวมีค่าเท่ากัน ด้วยเหตุนี้การเสริมเหล็กทางช่วงสั้นของแผ่นพื้นแบบนี้จะมีปริมาณมากกว่าการเสริมเหล็กทางช่วงยาวและจะต้องวางเหล็กเสริมทางช่วงสั้นไว้ล่างเสมอเพราะต้องรับน้ำหนักมากกว่า

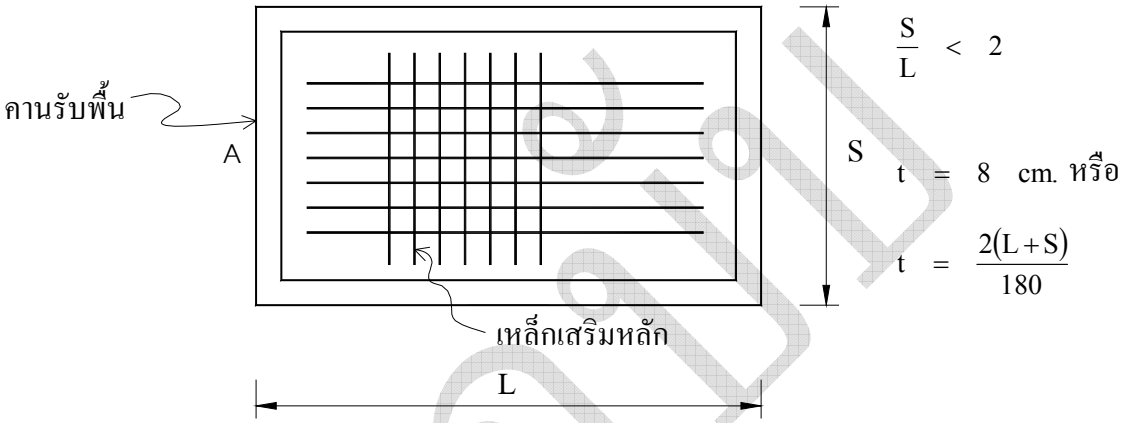
เหล็กเสริมทั้งสองทิศทางจะต้องใช้ตามข้อกำหนดดังนี้

1. ต้องวางห่างกันไม่เกิน 3 เท่าของความหนาของพื้น
2. หรือวางห่างกันไม่เกิน 30 cm.
3. ปริมาณของเหล็กเสริมในแต่ละทิศทางให้ใช้ไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ใน ว.ส.ท.3407

   คือ 3.1 เหล็กผิวเรียบ min As = 0.0025bt

   3.2 เหล็กข้ออ้อย min As = 0.0020bt

ความหนาของแผ่นพื้นจะต้องไม่น้อยกว่า 8 cm. หรือ $\frac{L}{180}$ ของเส้นรอบรูปของแผ่นพื้นนั้น



การคำนวณออกแบบแผ่นพื้นสองทาง (วิธีที่ 2 ของมาตรฐาน ว.ส.ท.)

มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้ให้ตารางของสัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (ภาคผนวก ก.9102) สำหรับแถบกลางของช่วงสั้นและช่วงยาวของแผ่นพื้นแบบนี้ สำหรับค่าของ $m = \frac{S}{L}$ ทั้งหมด 6 ค่า (ตั้งแต่ 0.5 ถึง 1.0) และเงื่อนไขที่ขอบของแผ่นพื้น 5 กรณี ความยาว (Span length) ที่ใช้ในการคำนวณให้คิดจากระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างที่รองรับ หรือช่องว่างบวกกับอีก 2 เท่าของความหนาของแผ่นพื้น แล้วแต่ค่าไหนจะน้อยกว่ากัน

การออกแบบพื้นตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ก.9102 วิธีที่ 2

C = สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์สำหรับแผ่นพื้นสองทาง ซึ่งให้ไว้ในตาราง 9103

m = อัตราส่วนระหว่างช่วงสั้นต่อช่วงยาว สำหรับแผ่นพื้นสองทาง

S = ความยาวของช่วงสั้นสำหรับแผ่นพื้นสองทาง โดยคิดระยะศูนย์ถึงศูนย์ระหว่างที่รองรับหรือช่องว่างบวกอีก 2 เท่าของความหนาของแผ่นพื้น แล้วแต่ค่าไหนจะน้อยกว่ากัน

W = น้ำหนักแผ่กระจายทั้งหมดต่อตารางเมตร

(ก) พิกัดต่างๆ - ค่าสัมประสิทธิ์ต่อไปนี้ใช้สำหรับแผ่นพื้น (ตันหรือเป็นครีบ) ต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่อง มีผนังหรือคานรองรับทั้งสี่ด้าน ซึ่งหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับแผ่นพื้นสองทาง

ให้ถือว่าแผ่นพื้นสองทางประกอบด้วยแถบต่างๆ ในแต่ละทิศทางดังนี้

แถบกลาง มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น โดยมีความสมมาตรกับเส้นแบ่งกึ่งกลางของช่วง และต่อเลยออกไปในช่วงพื้นในทิศทางที่คิดโมเมนต์

แถบเสา มีความกว้างเท่ากับครึ่งหนึ่งของช่วงพื้น โดยมีขนาดเท่ากับพื้นที่ซึ่งประกอบด้วยพื้นที่หนึ่งในสี่ของช่วงพื้นสองผืนที่อยู่นอกแถบกลาง

ถ้าอัตราส่วนระหว่างด้านสั้นต่อด้านยาว มีค่าน้อยกว่า 0.5 ให้ถือว่าแถบกลางในด้านสั้นมีความกว้างเท่ากับผลต่างระหว่างช่วงยาวกับช่วงสั้น พื้นที่ที่เหลือจะเป็นแถบเสาสองแถบ

ให้ถือว่าหน้าตัดวิกฤตสำหรับการคำนวณหาโมเมนต์เป็นหน้าตัดที่ใช้ในการคำนวณออกแบบ ซึ่งจะหาได้ดังนี้

สำหรับโมเมนต์ลบ ให้คิดที่ขอบโดยรอบของช่วงพื้นตรงขอบคานรองรับ

สำหรับโมเมนต์บวก ให้คิดที่เส้นแบ่งกึ่งกลางของช่วงพื้น

(ข) โมเมนต์ดัด - ให้คำนวณค่าโมเมนต์ดัดสำหรับแถบกลางจากสูตร $M = Cws^2$ ค่าโมเมนต์เฉลี่ยต่อความกว้าง 1 เมตรของแถบเสาเท่ากับสองในสามของโมเมนต์อย่างเดียวกันในแถบกลาง ในการหาระยะเรียงของเหล็กเสริมในแถบเสาให้ถือว่าโมเมนต์มีค่าสูงสุดที่ขอบของแถบกลาง และลดลงเรื่อยๆ จนถึงค่าต่ำสุดที่ขอบของช่วงพื้น

ถ้าโมเมนต์ลบที่ด้านใดของที่รองรับ มีค่าน้อยกว่าร้อยละ 80 ของโมเมนต์อีกด้านหนึ่งให้กระจายสองในสามของผลต่างของโมเมนต์ออกไปตามสัดส่วนของสตีฟเนสสัมพันธ์ของแผ่นพื้น

(ค) แรงเฉือน - อาจคำนวณหาหน่วยแรงเฉือนในแผ่นพื้นได้ โดยสมมุติว่าการกระจายน้ำหนักบรรทุกไปยังที่รองรับเป็นไปตามที่ระบุไว้ในข้อ (ง)

(ง) คานรองรับ - สำหรับช่วงพื้นสองทางรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ให้ถือว่าน้ำหนักบรรทุกที่ลงบนคานรองรับ คือน้ำหนักบรรทุกที่อยู่ภายในพื้นที่ของช่วงพื้นซึ่งล้อมรอบโดยเส้นที่ลากทำมุม 45 องศา จากมุมทั้งสี่ตัดกับเส้นแบ่งครึ่งช่วงพื้นที่ขนานกับด้านยาว

อาจหาค่าประมาณของโมเมนต์ดัดได้โดยใช้น้ำหนักเฉลี่ยต่อเมตรของคาน สำหรับช่วงพื้นและช่วงที่มีการรองรับ ดังนี้

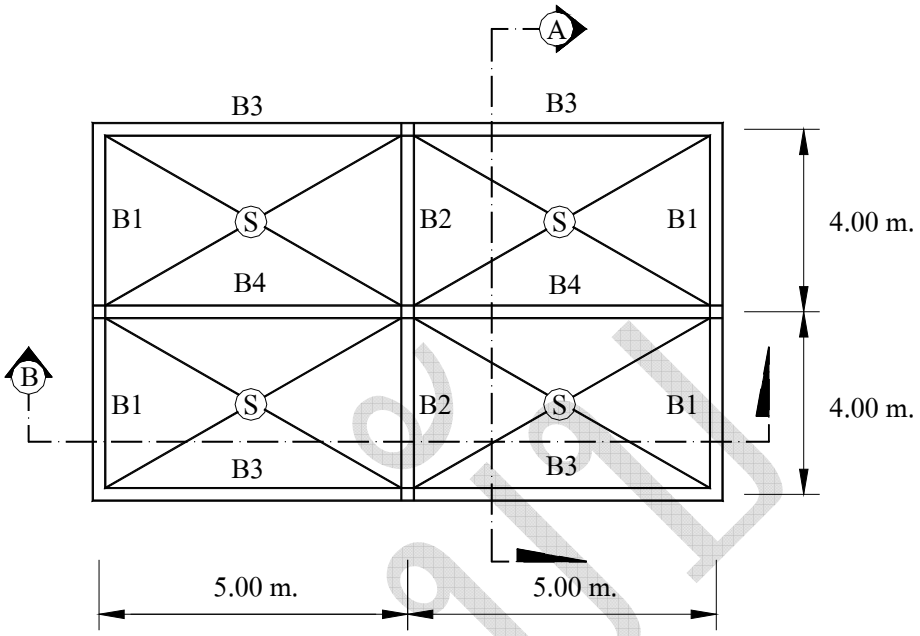
สำหรับช่วงสั้น : $\frac{wS}{3}$

สำหรับช่วงยาว : $\frac{wS}{3} \cdot \frac{\left(3 - m^2\right)}{2}$

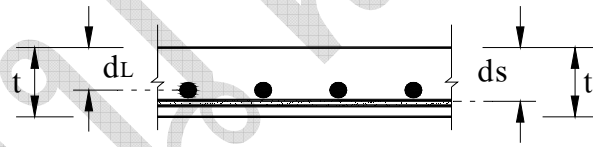
ตารางที่ 3.1 สัมประสิทธิ์ของโมเมนต์ (ตาราง 9103)

โมเมนต์	ช่วงสั้น						ช่วงยาว
	ค่าต่าง ๆ ของ m						
	1.0	0.9	0.8	0.7	0.6	0.5 และต่ำกว่า	สำหรับทุกค่า
กรณีที่ 1 ช่วงพื้นภายใน							
โมเมนต์ลบ - ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.033	0.040	0.048	0.055	0.063	0.083	0.033
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	–	–	–	–	–	–	–
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.025	0.030	0.036	0.041	0.047	0.062	0.025
กรณีที่ 2 ไม่ต่อเนื่องกันด้านเดียว							
โมเมนต์ลบ - ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.041	0.048	0.055	0.062	0.069	0.085	0.041
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.021	0.024	0.027	0.031	0.035	0.042	0.021
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.031	0.036	0.041	0.047	0.052	0.064	0.031
กรณีที่ 3 ไม่ต่อเนื่องกันสองด้าน							
โมเมนต์ลบ - ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.049	0.057	0.064	0.071	0.078	0.090	0.049
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.025	0.028	0.032	0.036	0.039	0.045	0.025
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.037	0.043	0.048	0.054	0.059	0.068	0.037
กรณีที่ 4 ไม่ต่อเนื่องกันสามด้าน							
โมเมนต์ลบ - ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	0.058	0.066	0.074	0.082	0.090	0.098	0.058
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.029	0.033	0.037	0.041	0.045	0.049	0.029
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.044	0.050	0.056	0.062	0.068	0.074	0.044
กรณีที่ 5 ไม่ต่อเนื่องกันทั้งสี่ด้าน							
โมเมนต์ลบ - ที่ด้านซึ่งต่อเนื่องกัน	–	–	–	–	–	–	–
- ที่ด้านซึ่งไม่ต่อเนื่องกัน	0.033	0.038	0.043	0.047	0.053	0.055	0.033
โมเมนต์บวกที่กึ่งกลางช่วง	0.050	0.057	0.064	0.072	0.080	0.083	0.050

ตัวอย่างที่ 3.3 จงออกแบบแผ่นพื้นสองทางที่มีการต่อเนื่อง 2 ด้าน ดังแปลนพื้นที่แสดง กำหนดให้ น้ำหนักบรรทุกจร = 200 kg./m.^{2} fc = 60 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 12 ความกว้างของคานที่รองรับ = 0.20 m.



<u>วิธีทำ</u>



.....

.....

.....

.....

.....

.....

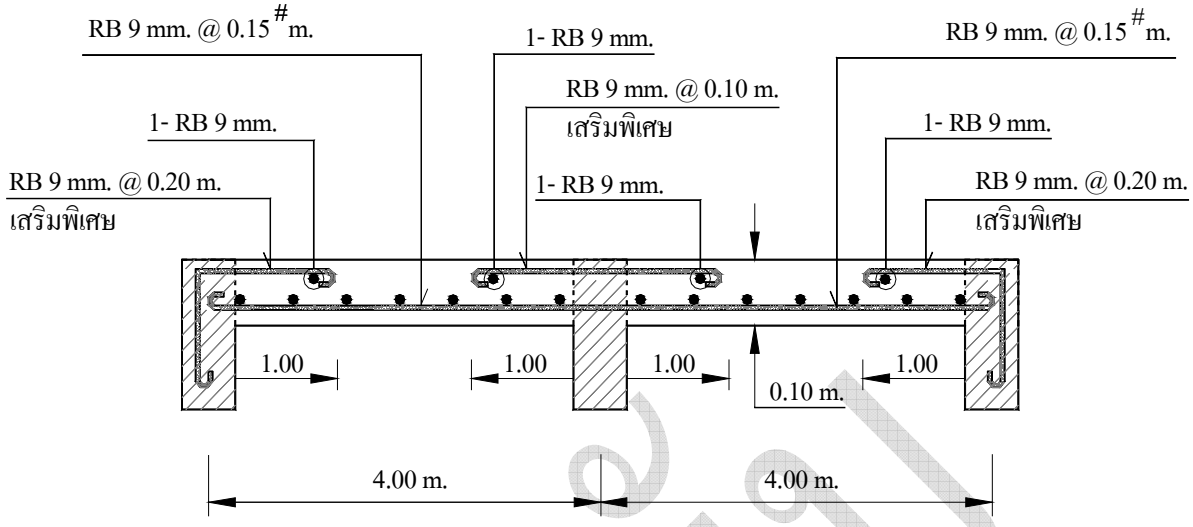
.....

.....

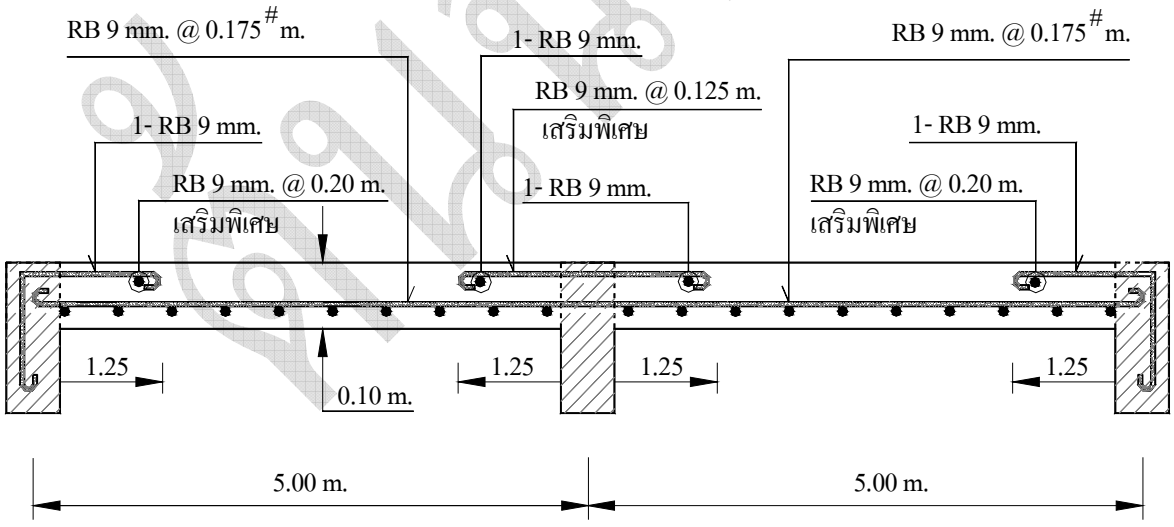
.....

.....

.....



การเสริมเหล็กทางด้านสั้น



การเสริมเหล็กทางด้านยาว

แสดงการเสริมเหล็กพื้นสองทางต่อเนื่อง 2 ด้าน

3.3 การกระจายน้ำหนักจากพื้นสู่คาน

น้ำหนักที่ลงสู่คานช่วงยาวด้านริม W_L' $= \frac{wS}{3} \cdot \frac{\left(3-m^2\right)}{2}$

$= \frac{440(4)}{3} \cdot \frac{\left(3-0.8^2\right)}{2}$ $= 692.5$ kg./m.

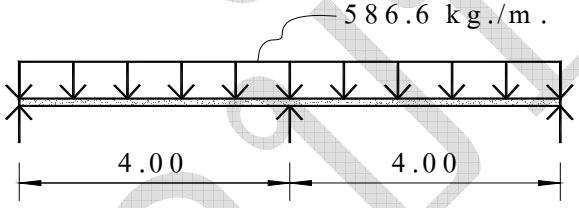
คานช่วงยาวแถวกลาง $= 692.5\ (2)$ $= 1{,}385$ kg./m.

น้ำหนักที่ลงสู่คานช่วงสั้นด้านริม W_S' $= \frac{wS}{3}$

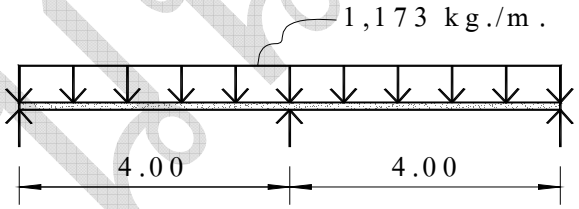
$= \frac{440(4)}{3}$ $= 586.6$ kg./m.

คานช่วงสั้นแถวกลาง $= 586.6\ (2)$ $= 1{,}173$ kg./m.

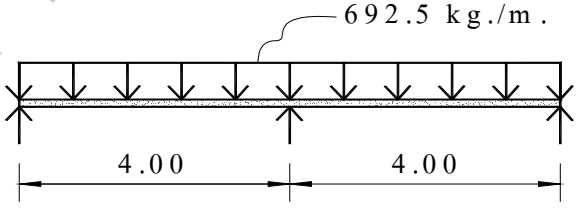
คาน B1



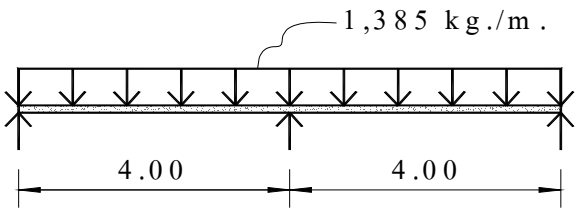
คาน B2



คาน B3



คาน B4



แบบฝึกหัดท้ายบท

1. จงออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งมีคานรองรับทั้งสี่ด้าน โดยมีด้านยาว 6.00m. กว้าง 2.00 m. รับน้ำหนักบรรทุกจร 500 kg./$m.^2$ กำหนดให้ fc = 60 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 12

2. จงออกแบบแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กซึ่งเป็นแผ่นพื้นช่วงภายใน มีขนาดกว้าง 4.00 m. ยาว 5.00 m. รับน้ำหนักบรรทุกจร 400 kg./$m.^2$ กำหนดให้ fc = 60 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 12

แผนบริหารการสอนประจำหน่วยที่ 4

เวลาที่ใช้สอน 9 ชั่วโมง

หัวข้อเนื้อหาประจำหน่วย

1. บันไดแบบมีแม่บันไดสองข้างขนานขอบ
2. บันไดแบบพาดทางช่วงยาว (แบบมีคานรับที่ปลาย)
3. การคิดน้ำหนักของบันได

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. ออกแบบคำนวณบันไดแบบมีแม่บันไดสองข้างขนานขอบได้อย่างถูกต้อง
2. ออกแบบคำนวณบันไดแบบพาดทางช่วงยาว (แบบมีคานรับที่ปลาย) ได้อย่างถูกต้อง
3. เข้าใจการคิดน้ำหนักของบันไดได้อย่างถูกต้อง

แนวคิดในการสอน

เพื่อให้นักศึกษาสามารถออกแบบคำนวณ บันไดแบบมีแม่บันไดสองข้างขนานขอบ ออกแบบคำนวณบันไดแบบพาดทางช่วงยาว และเข้าใจการคิดน้ำหนักของบันได ได้อย่างถูกต้อง

วิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บอกจุดประสงค์การเรียนรู้
2. สอนแบบบรรยาย
3. นักเรียนได้เรียนรู้และจดบันทึก
4. ครู นักเรียน สรุป ทบทวนความรู้ความเข้าใจ
5. นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อ Power point
2. สื่อแผ่นใส
3. เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. แบบฝึกหัดท้ายบท

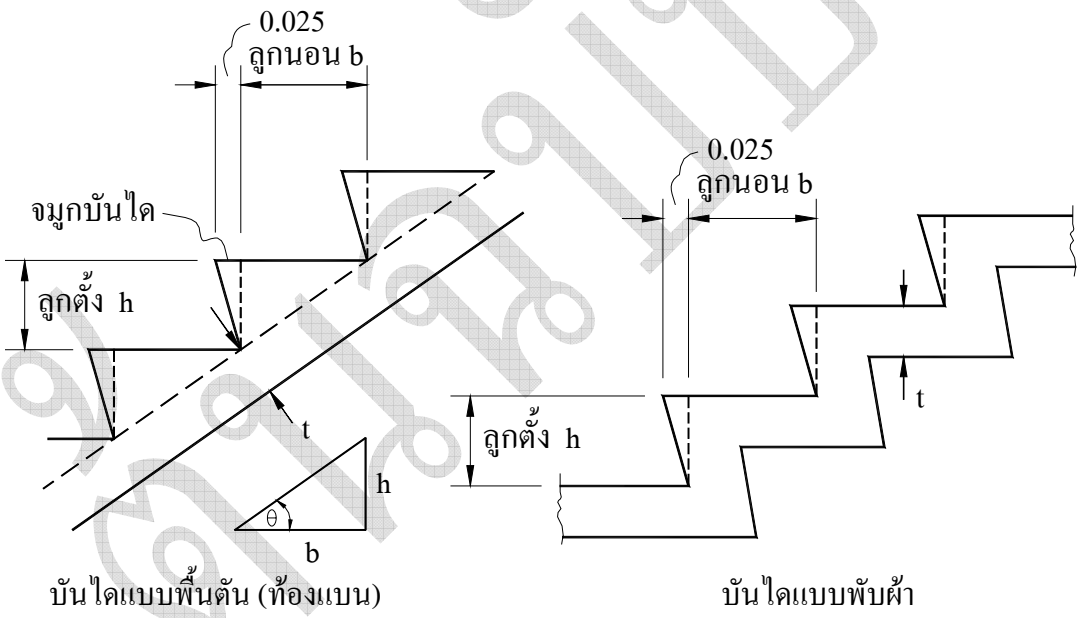
การวัดผลและประเมินผล

1. การตอบคำถาม และการอภิปราย
2. การทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ต้นฉบับ

หน่วยที่ 4
บันไดคอนกรีตเสริมเหล็ก

บันไดเป็นโครงสร้างที่สำคัญสำหรับเป็นทางขึ้นลงระหว่างชั้นต่าง ๆ ของอาคาร ส่วนสำคัญของบันได คือ ความสูงของแต่ละขั้น เรียกว่า ลูกตั้ง และระยะทางราบจากจมูกบันไดหรือจากส่วนลึกถึงส่วนลึกของขั้นบันได เรียกว่า ลูกนอน ตามกฎหมายเทศบัญญัติได้กำหนดไว้ว่า อาคารบ้านพักอาศัย ลูกตั้งต้องไม่เกิน 0.20 ม. ลูกนอนต้องไม่น้อยกว่า 0.22 ม. และถ้าเป็นอาคารสาธารณะ ลูกตั้งไม่เกิน 0.19 ม. ลูกนอนไม่น้อยกว่า 0.24 ม. และความกว้างของบันไดจะต้องไม่น้อยกว่า 1.50 ม. สูงไม่เกินช่วงละ 4.00 ม. สำหรับอาคารสาธารณะ โรงงานอุตสาหกรรม หรืออาคารพาณิชย์

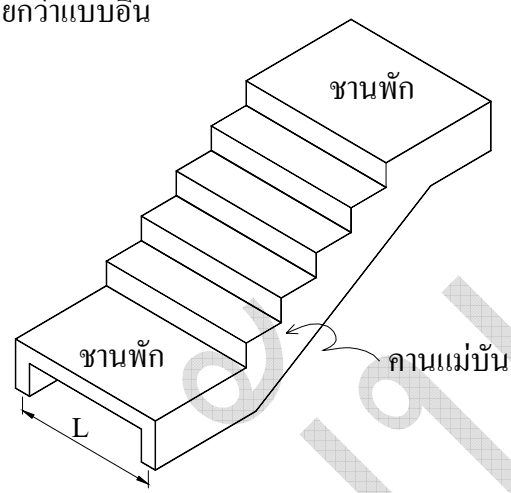


รูปที่ 4.1 แสดงรูปแบบของขั้นบันได

พื้นบันไดอาจออกแบบเป็นพื้นตัน หรือพื้นหยักไปตามขั้นบันไดก็ได้ ซึ่งแบ่งบันไดออกเป็นสองแบบตามลักษณะของโครงสร้าง คือ บันไดแบบมีคานแม่บันไดสองข้างและบันไดแบบพาดทางช่วงยาว

4.1 บันไดแบบมีคานแม่บันไดสองข้าง

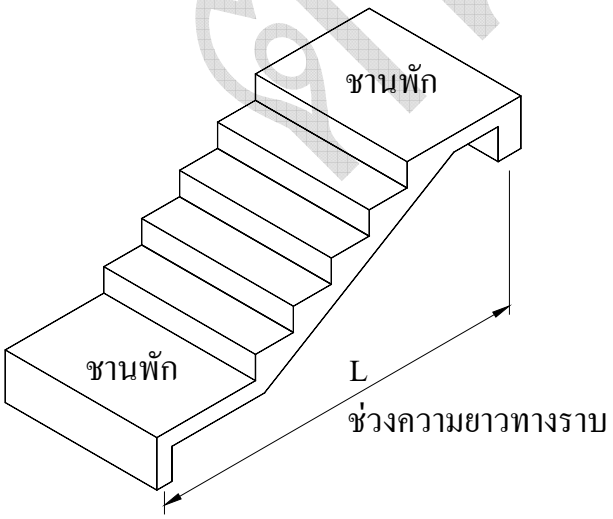
บันไดแบบนี้มีคานแม่บันไดขนาบสองข้างของแต่ละช่วง และออกแบบเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียวที่มีแม่บันไดเป็นฐานรองซึ่งเป็นช่วงสั้น ๆ เท่ากับความกว้างของบันได พื้นบันไดแบบนี้มีความหนาน้อยกว่าแบบอื่น



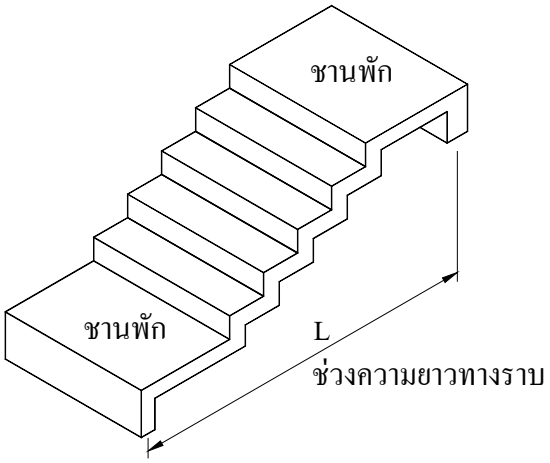
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะของบันไดแบบมีคานแม่บันไดสองข้าง

4.2 บันไดแบบพาดทางช่วงยาว (แบบมีคานรับที่ปลาย)

บันไดแบบนี้ออกแบบเป็นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กทางเดียว พาดทางช่วงยาวระหว่างคานพื้น และคานที่ชานพักซึ่งทำหน้าที่เป็นฐานรองรับ บันไดแบบนี้อาจออกแบบเป็นพื้นตันท้องเรียบหรือเป็นแบบพื้นหยักตามขั้นบันได ซึ่งเรียกว่าบันไดพับผ้า ช่วงยาวของบันไดที่ใช้คิดโมเมนต์ดัดให้ใช้ระยะในแนวราบระหว่างคานพื้นกับคานชานพัก



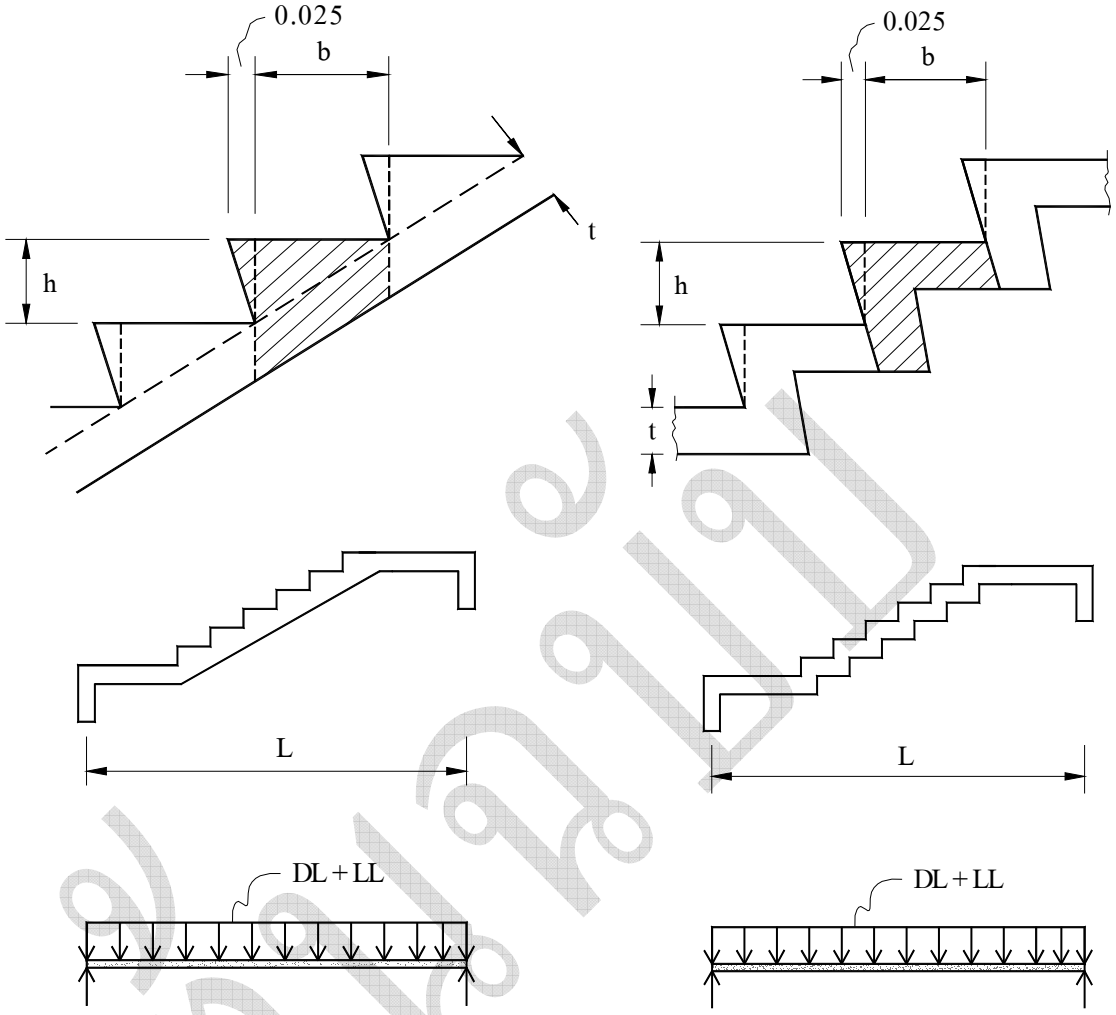
บันไดแบบมีคานรับที่ปลายพื้นตัน



บันไดแบบมีคานรับที่ปลายพับผ้า

รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะบันไดแบบพาดทางช่วงยาว

4.3 การคิดน้ำหนักของบันได



รูปที่ 4.4 แสดงรูปแบบการคิดน้ำหนักของบันได

พิจารณารูปที่ 4.4 (ก) เป็นบันไดแบบท้องแบน ตัดบันไดมาพิจารณา 1 ขั้น ตามรูปที่แรเงาไว้ จะได้

พื้นที่หน้าตัด $A = \frac{1}{2}(0.025)h + \frac{1}{2}bh + t\left(\sqrt{b^2 + h^2}\right)$

$$A = \frac{1}{2}(b + 0.025)h + t\left(\sqrt{b^2 + h^2}\right) \qquad \text{สมการที่ 4.1}$$

จากสมการที่ 4.1 คิดพื้นที่บันไดเพียง 1 ขั้น หรือกว้างเท่ากับ b

$\therefore$ ถ้าคิดพื้นที่ของบันไดกว้าง 1.00 เมตร (พื้นที่ต่อหน่วยความยาว)

นั่นคือ $$\frac{A}{b} = \frac{1}{2}(b + 0.025)\frac{h}{b} + \frac{t}{b}\left(\sqrt{b^2 + h^2}\right) \qquad \text{สมการที่ 4.2}$$

และน้ำหนักของบันไดต่อหน่วยความยาว คือ

$$W_{DL} = \frac{A}{b} \times 2{,}400$$

$$W_{DL} = 1{,}200(1+\frac{0.025}{b})h + 2{,}400t\left(\sqrt{1+\left(\frac{h}{b}\right)^2}\right) \quad \text{(kg./m.)} \qquad \text{สมการที่ 4.3}$$

ถ้ารวมน้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} กับน้ำหนักของบันไดก็จะเป็นน้ำหนักบรรทุกรวมทั้งหมด

$$W_{TL} = W_{DL} + W_{LL}$$

ดังนั้น น้ำหนักบรรทุกทั้งหมด = $W_{DL} + W_{LL}$(ตามเทศบัญญัติกำหนด) ตามรูปที่ 4.4(ข) เป็นบันไดแบบพับผ้า ตัดบันไดมาพิจารณา 1 ขั้น ตามรูปจะได้

พื้นที่หน้าตัด A $= (b+0.025)(h+t) - \left(b+0.025 - \frac{t}{\cos\theta}\right)h$

$$\therefore A = bh + bt + 0.025h + 0.025t - bh - 0.025h + th\frac{\sqrt{b^2+h^2}}{b}$$

$$= \left(b + 0.025 + h\frac{\sqrt{b^2+h^2}}{b}\right)$$

$$A = t\left(b + 0.025 + h\sqrt{1+\left(\frac{h}{b}\right)^2}\right) \qquad \text{สมการที่ 4.4}$$

$\therefore$ ถ้าคิดพื้นที่ของบันไดกว้าง 1.0 เมตร (พื้นที่ต่อหน่วยความยาว)

นั้นคือ $\frac{A}{b} = \frac{t}{b}\left(b + 0.025 + h\sqrt{1+\left(\frac{h}{b}\right)^2}\right)$ สมการที่ 4.5

คิดน้ำหนักบันไดต่อหน่วยความยาว คือ

$$W_{DL} = \frac{A}{b} \times 2{,}400$$

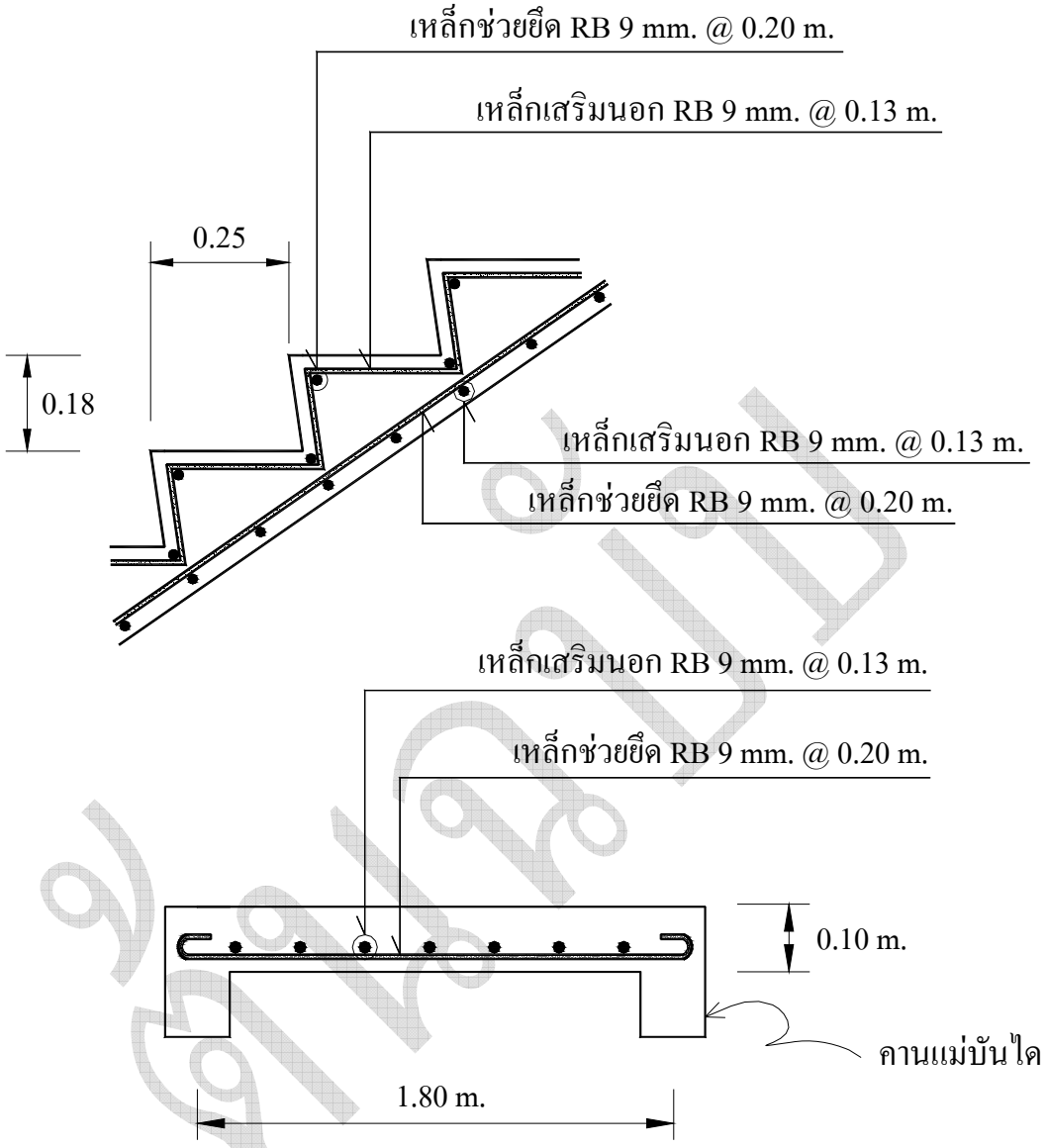
$$W_{DL} = \frac{t}{b}\left(b + 0.025 + h\sqrt{1+\left(\frac{h}{b}\right)^2}\right) \times 2{,}400 \quad \text{(kg./m.)} \qquad \text{สมการที่ 4.6}$$

เมื่อรวมน้ำหนักบรรทุกจร W_{LL} กับน้ำหนักของบันได ก็จะเป็นน้ำหนักรวมทั้งหมด

$$W_{TL} = W_{DL} + W_{LL}$$

ตัวอย่างที่ 4.1 จงออกแบบบันไดซึ่งมีความกว้าง 1.80 เมตร พาดกับคานแม่บันไดสองข้าง ขั้นบันไดมีความกว้าง 22.5 cm. จมูกบันไดกว้าง 2.5 cm. ลูกตั้งสูง 18 cm. น้ำหนักบรรทุกจร 400 $kg./m.^2$ หน่วยแรงที่ยอมให้ fc = 50 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 13

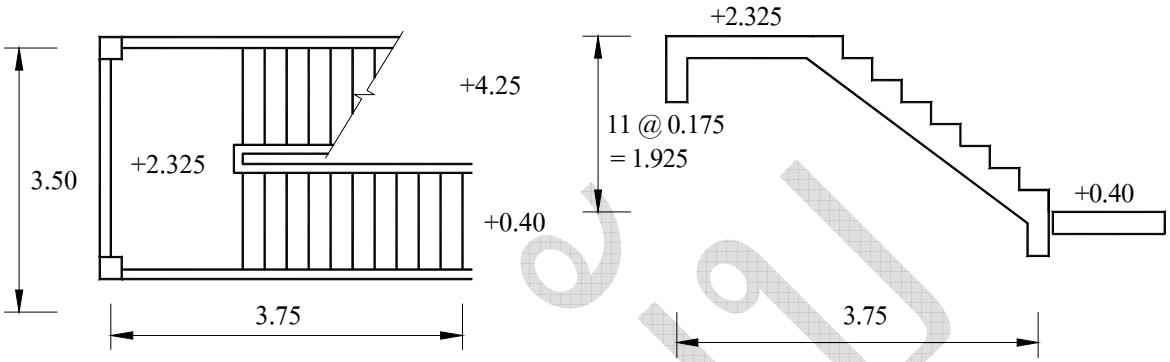
<u>วิธีทำ</u>



แสดงการเสริมเหล็กบันไดแบบพาดกับคานแม่บันได

ตัวอย่างที่ 4.2 แบบบันไดดังรูป ความสูงระหว่างชั้น 3.85 m. โดยมีชานพักบันไดสูง 1.925 m. และเป็นบันไดของอาคารสำนักงาน กำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ fc = 50 ksc fs = 1,200 ksc. n = 13 จงออกแบบ ก. บันไดแบบท้องเรียบ

ข. บันไดแบบพับผ้า



<u>วิธีทำ</u>

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

……

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

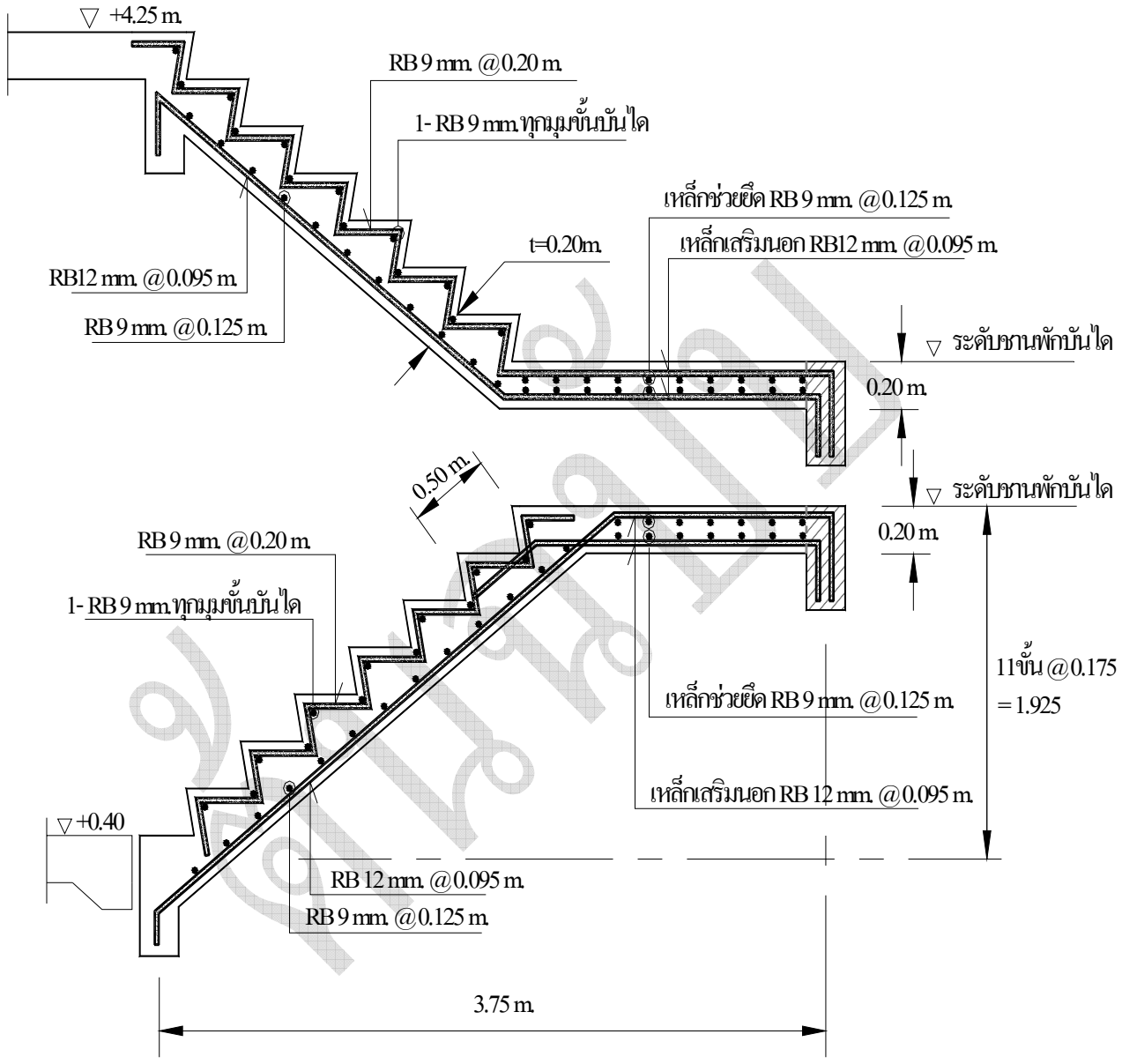
.....

.....

.....

.....

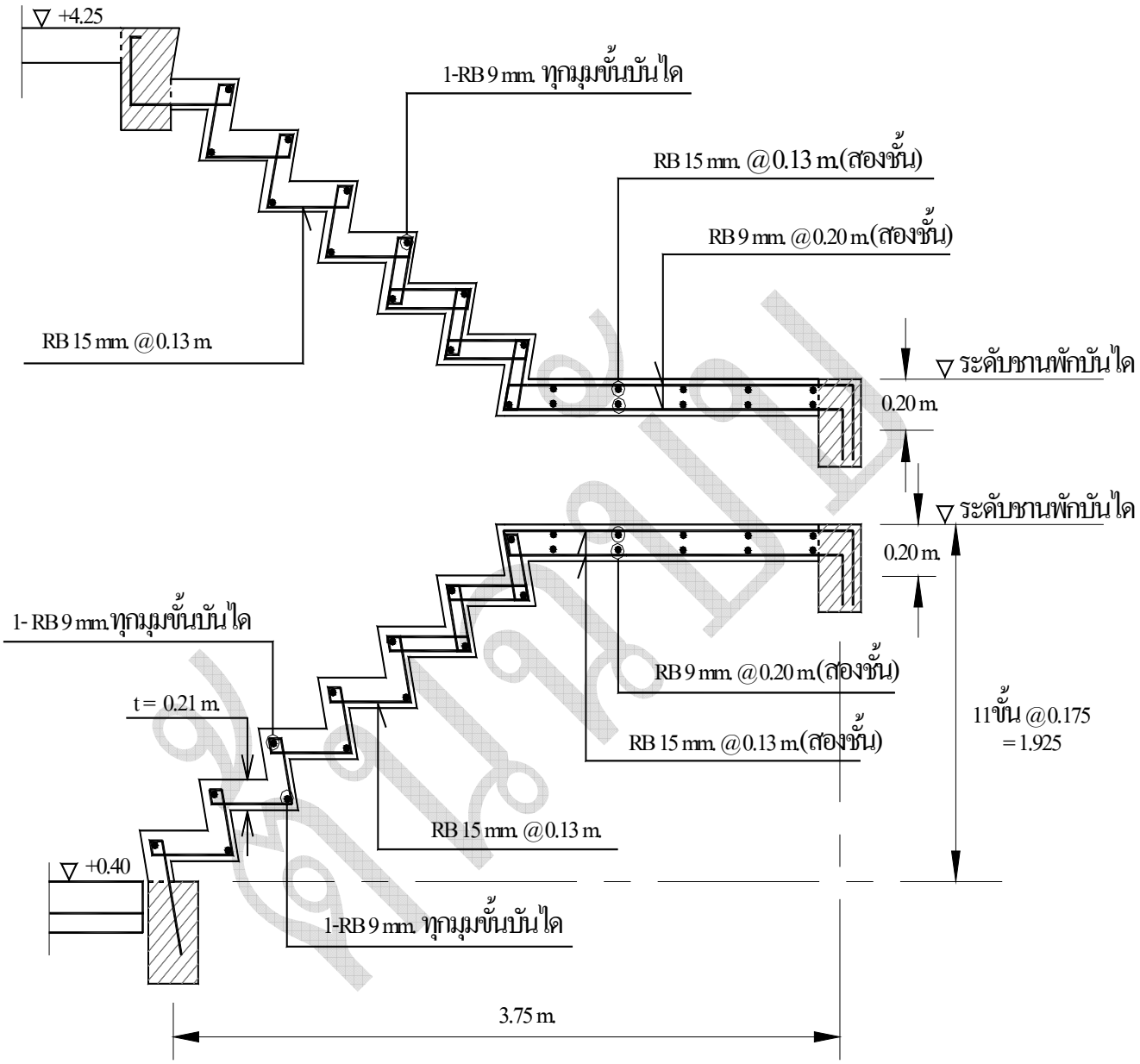
.....



แสดงการเสริมเหล็กบันไดแบบท้องเรียบ

ข. <u>ออกแบบบันไดแบบพับผ้า</u>

…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………
…………………………………………………………………………………………………



แสดงการเสริมเหล็กบันไดแบบพับผ้า

แบบฝึกหัดท้ายบท

1. จงออกแบบบันไดช่วงเดียวซึ่งมีระยะในราบ 3.00 m. บันไดนี้รับน้ำหนักบรรทุกจร 300 kg./m.^{2} ระยะลูกตั้งของบันได 18 cm. และระยะลูกนอนของขั้นบันได 25 cm. กำหนดให้ f_c' = 135 ksc. fc = 60 ksc. fs = 1,200 ksc.

2. จงออกแบบบันไดช่วงเดียวแบบพับผ้า ที่มีคานแม่บันไดทั้งสองข้าง โดยมีความยาวช่วงใน 3.50 m. ความกว้างของบันได 2.00 m. ระยะลูกตั้งของบันได 18 cm. และระยะลูกนอนของขั้นบันได 25 cm. กำหนดให้ f_c' = 135 ksc. fc = 60 ksc. fs = 1,200 ksc. รับน้ำหนักบรรทุกจร 400 kg./m.^{2}

แผนบริหารการสอนประจำหน่วยที่ 5

เวลาที่ใช้สอน 9 ชั่วโมง

หัวข้อเนื้อหาประจำหน่วย

1. ประเภทของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. หลักการคำนวณเสาสั้นรับน้ำหนักตามแกน
3. เสายาว

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายประเภทของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างถูกต้อง
2. ออกแบบคำนวณเสาสั้นรับน้ำหนักตามแกนได้อย่างถูกต้อง
3. ออกแบบคำนวณเสายาวได้อย่างถูกต้อง

แนวคิดในการสอน

เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายองค์อาคารในส่วนของเสา ได้แก่ประเภทของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก ออกแบบคำนวณเสาสั้นรับน้ำหนักตามแกน และสามารถออกแบบคำนวณเสายาว ซึ่งนักศึกษาสามารถออกแบบคำนวณโครงสร้างเสาคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างถูกต้อง

วิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บอกจุดประสงค์การเรียนรู้
2. สอนแบบบรรยาย
3. นักเรียนได้เรียนรู้และจดบันทึก
4. ครู นักเรียน สรุป ทบทวนความรู้ความเข้าใจ
5. นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อ Power point
2. สื่อแผ่นใส
3. เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. แบบฝึกหัดท้ายบท

การวัดผลและประเมินผล

1. การตอบคำถาม และการอภิปราย
2. การทำแบบฝึกหัดท้ายบท

ลิขสิทธิ์

หน่วยที่ 5
เสาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Columns)

เสาเป็นโครงสร้างที่อยู่ในแนวดิ่งทำหน้าที่รับแรงอัด จากน้ำหนักในแนวแกนหรือรับทั้งแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน รูปตัดของเสามีทั้งกลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส และสี่เหลี่ยมพื้นผ้า มีทั้งเหล็กเสริมหรือเหล็กยืนที่ช่วยกันรับน้ำหนักร่วมกับคอนกรีต และมีเหล็กทางข้างชนิดปลอกเกลียวหรือปลอกเดี่ยวกันขอบเหล็กเสริม เพื่อช่วยให้เสา คสล. รับน้ำหนักได้ดีขึ้น

5.1 ประเภทของเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก

5.1.1 เสาปลอกเดี่ยว

เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กยืนโดยมีปลอกรัดเป็นวง ๆ เหล็กปลอกที่จัดอาจเป็นวงเดียวหรือหลายวงก็ได้ ลักษณะของเหล็กปลอกควรจะงอฉากให้เกี่ยวยึดเหล็กยืนถี่พอสมควร เพื่อป้องกันเหล็กยืนไม่ให้โก่งงอ เสาประเภทนี้นิยมใช้กับอาคารทั่ว ๆ ไป

5.1.2 เสาปลอกเกลียว

เป็นเสาคอนกรีตเสริมเหล็กยืนมีปลอกพันเกลียวรัดต่อเนื่อง พันรอบเหล็กยืน เสาแบบนี้จะรับแรงได้ดีกว่าเสาปลอกเดี่ยวประมาณ 15%

5.1.3 เสาปลอกเกลียวเสริมแกนเหล็ก

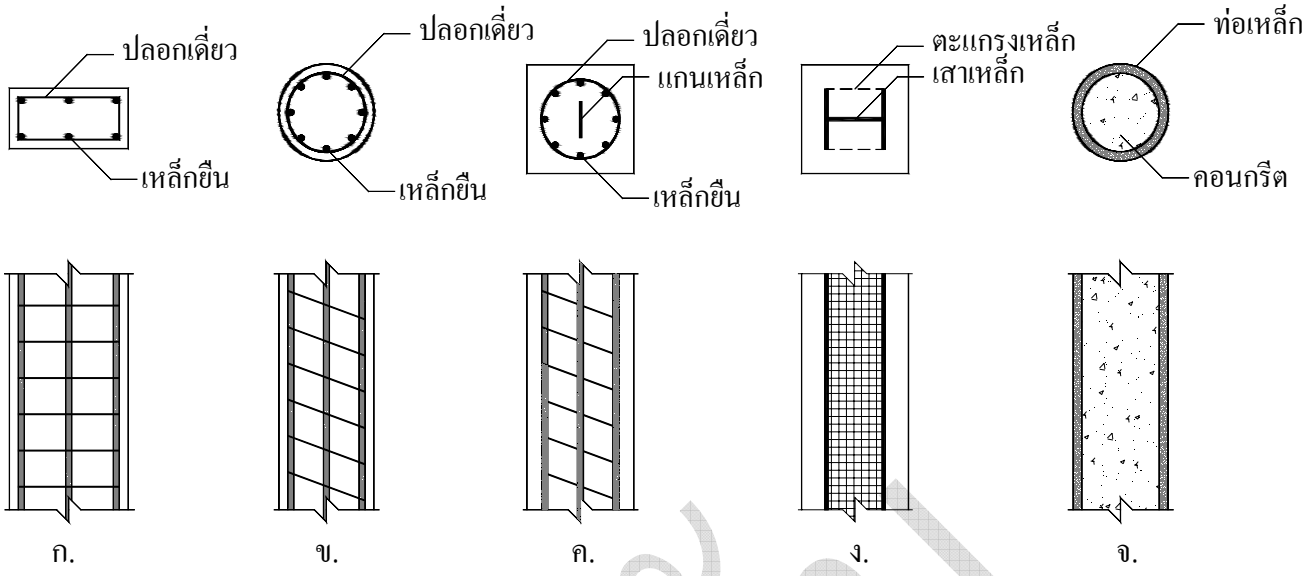
เหมือนเสาปลอกเกลียวแต่แกนกลางจะมีเหล็กเสริมแกน ซึ่งอาจมีหน้าตัด I หรือ H ตามความเหมาะสม พื้นที่หน้าตัดแกนเหล็กเมื่อเทียบกับหน้าตัดเสาแล้วจะไม่ใหญ่นัก เสาชนิดนี้นิยมใช้ในกรณีมีแป้นหูช้าง หรือต้องการลดขนาดของเสาลงให้พอเหมาะกับวัสดุประสงค์ทางสถาปัตยกรรม

5.1.4 เสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต

คล้ายกับเสาปลอกเกลียวเสริมแกนเหล็ก แต่เหล็กที่เป็นแกนนิยมใช้เหล็กแผ่นหนา ๆ มาเชื่อมหรือย้ำหมุดขึ้นรูปเป็นหน้าตัด H ขนาดใหญ่ หุ้มด้วยตะแกรงเหล็กเบอร์ 10 As & W.Gage และมีคอนกรีตกำลังสูงหุ้มไม่น้อยกว่า 6 cm. เสาชนิดนี้นิยมใช้ในกรณีที่ต้องการขนาดเสาเล็ก แต่รับน้ำหนักมาก

5.1.5 เสาคอนกรีตหุ้มด้วยท่อเหล็ก

เป็นเสาที่รับน้ำหนักไม่มาก เช่น ค้ำยันธรรมดา ปลายล่างที่ฝังในคอนกรีตพื้นหรือฐานราก ต้องมีแผ่นเหล็กหนา $\frac{3}{8}$ นิ้ว หรือประมาณ 10 mm. เชื่อมติดสำหรับกระจายน้ำหนัก



รูปที่ 5.1 แสดงรูปแบบของเสาชนิดต่างๆ

5.2 เสาสั้นรับน้ำหนักตามแกน (Concentrically beded shot columns)

สำหรับอาคารทั่ว ๆ ไป ที่เสาไม่ต้องรับโมเมนต์โดยน้ำหนักตามแนวแกนกลางเท่านั้น

5.2.1 สูตรคำนวณหากำลังรับน้ำหนัก

5.2.1.1 เสาปลอกเกลียว

$$P = Ag(0.25\, f'_c + f_s \rho_g) \quad \text{สมการที่ 5.1}$$

$$= 0.25\, Ag\, f'_c + 0.40\, f_y\, A_s$$

5.2.1.2 เสาปลอกเดี่ยว ใช้น้ำหนักปลอดภัยสูงสุดตามแกนเสา เท่ากับร้อยละ 85 ของเสาปลอกเกลียว คือ

$$P = 0.85\, Ag(0.25\, f'_c + f_s \rho_g) \quad \text{สมการที่ 5.2}$$

$$= 0.2125\, Ag\, f'_c + 0.34\, f_y\, A_s$$

เมื่อ P = กำลังรับน้ำหนักโดยปลอดภัยตามแกนของเสา , kg.

Ag = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเสาคอนกรีต , cm.

f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน , ksc.

$\rho_g = \frac{As}{Ag}$ = อัตราส่วนพื้นที่เหล็กยืนต่อพื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของคอนกรีต โดยค่า ρ_g ควรอยู่ในช่วง $0.01 < \rho_g < 0.08$

f_s = หน่วยแรงปลอดภัยของเหล็กเสริมในแนวดิ่งของเสา ซึ่งให้ใช้เท่ากับร้อยละ 40 ของกำลังคลากต่ำสุดตามค่าเกณฑ์กำหนดแต่ต้องไม่เกิน 2,100 ksc.

5.2.1.3 เสาเหล็กหุ้มด้วยคอนกรีต เสาเหล็กฝังในคอนกรีต เสาเหล็กกล้าหุ้มด้วยคอนกรีตที่หนาไม่ต่ำกว่า 6 cm. จากผิวเหล็ก (ยกเว้นหัวหมุดย้ำ) ให้คำนวณหาน้ำหนักโดยปลอดภัย ดังนี้

$$P = Ar\, fr' \left(1 + \frac{Ag}{100\, Ar}\right) \qquad \text{สมการที่ 5.3}$$

คอนกรีตที่ใช้จะต้องมีกำลังอัด fc' ไม่ต่ำกว่า 200 ksc. เมื่ออายุ 28 วัน และจะต้องเสริมด้วยเหล็กตาข่ายเบอร์ 10 As & W.Gage หรืออย่างอื่นที่เทียบเท่าพันรอบเสาจะต้องห่างกันไม่เกิน 10 cm. ส่วนที่ขนานกับแกนของเสาจะต้องห่างกันไม่เกิน 20 cm. เหล็กตาข่ายนี้ให้พันขอบเสาห่างจากผิวหน้าคอนกรีตเข้ามา 2.5 cm. และให้พันเหลื่อมกันไม่น้อยกว่า 40 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางของลวด

เมื่อ Ag = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมดของเสา , $cm.^2$

Ar = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กรูป , $cm.^2$

fr' = หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กรูป ดูจากสมการที่ 5.3

5.2.1.4 เสาคอนกรีตหุ้มด้วยท่อเหล็ก เสาชนิดนี้ใช้รับน้ำหนักไม่มาก โดยกรอกคอนกรีตเต็มภายในท่อเหล็ก ให้คำนวณหาน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยได้ดังนี้

$$P = 0.25\, fc' \left(1 - 0.000025 \frac{h^2}{Kc^2}\right) Ac + fr'.Ar \qquad \text{สมการที่ 5.4}$$

ค่า fr' ให้ไว้จากสมการที่ 5.4 สำหรับท่อเหล็กที่มีกำลังคลากไม่น้อยกว่า 2,300 ksc. และอัตราส่วน $\frac{h}{Ks}$ ไม่เกิน 120

โดย $$fr' = 1{,}195 - 0.0342 \frac{h^2}{Ks^2} \qquad \text{สมการที่ 5.5}$$

เมื่อ fc' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่อายุ 28 วัน , ksc.

h = ความสูงของเสา , m.

Kc = รัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดส่วนที่เป็นคอนกรีต , m.

Ks = รัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดท่อเหล็ก (เทียบเหล็กรูป) , m.

fr' = หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กรูป , ksc.

Ac = พื้นที่หน้าตัดเสาที่เป็นคอนกรีต , $cm.^2$

Ar = พื้นที่หน้าตัดของท่อเหล็ก , $cm.^2$

5.2.1.5 เสา คสล. แกนเหล็ก ใช้กับเสาคอนกรีตเสริมเหล็กตามแนวยาวและเหล็กปลอกเกลียวมีแกนเป็นเหล็กรูปพรรณหรือเหล็กหล่อ จะรับน้ำหนักปลอดภัยได้ไม่เกิน

$$P = 0.225\, Ag.fc' + fs.As + fr.Ar \qquad \text{สมการที่ 5.6}$$

เมื่อ P = น้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกนกลาง , kg.

Ag = พื้นที่หน้าตัดเสาส่วนที่เป็นคอนกรีต , $cm.^2$

Ag = A – As – Ar ; A = พื้นที่หน้าตัดเสา

f_c' = กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน

fs = 1,200 ksc. สำหรับเหล็กเส้นกลมเรียบ (เหล็กยืน)

fs = 0.4 fy สำหรับเหล็กข้ออ้อยและเหล็กขวั้น แต่ไม่เกิน 2,100 ksc.

Ar = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมแกน , $cm.^2$ โดยไม่เกิน 0.2 A

fr = หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมแกน โดยไม่เกิน 1,250 ksc.

สำหรับเหล็ก A36 (ASTM) 1,100 ksc.

สำหรับเหล็ก A7 (ASTM) 700 ksc. สำหรับเหล็กหล่อ

จากสมการที่ 5.6 ต้องให้เสามีคุณสมบัติตามสมการตลอดความยาวข้างต้น ส่วนที่เป็นคอนกรีตเสริมเหล็กต้องออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุกจากแป้นหูช้างที่เชื่อมติดกับเหล็กแกน โดยหน่วยแรงของส่วนนี้ไม่เกิน 0.35 f_c' เมื่อเทียบกับหน้าตัด Ag

เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริมแกน Ar < 0.2A ถ้ากลวงต้องเทคอนกรีตให้เต็ม ช่องว่างระหว่างเหล็กปลอกเกลียวกับเหล็กเสริมแกนต้องมากกว่า 7.5 cm. แต่ถ้าหน้าตัดเหล็กเสริมแกนเป็นรูปตัด H ช่องว่างส่วนแคบสุด > 5.0 cm. แป้นหูช้างเชื่อมติดกับเหล็กเสริมแกนด้านบนให้ตรงกับกึ่งกลางความหนาของพื้น เหล็กเสริมแกนต้องรับน้ำหนักต่าง ๆ ระหว่างการก่อสร้างได้อย่างปลอดภัยก่อนเทคอนกรีตหุ้ม

5.2.2 ข้อกำหนดทั่วไปเกี่ยวกับเสา (ว.ส.ท. 3400 , 4800 , 5300 , 8400)

5.2.2.1 ขนาดของเสา อย่างน้อยที่สุดจะต้องมีอัตราส่วน $\frac{h}{t}$ ไม่เกิน 15 โดยที่ h เป็นความสูงของเสาระหว่างชั้น และ t เป็นด้านแคบของเสาสี่เหลี่ยม หรือเป็นเส้นผ่าศูนย์กลางของเสากลม มิฉะนั้นแล้วจะต้องลดกำลังรับน้ำหนักของเสาเนื่องจากความชะลูด (ว.ส.ท. 5303) ถึงแม้ว่ามาตรฐาน ว.ส.ท. จะไม่ได้กำหนดขนาดต่ำสุดของเสาไว้ แต่มาตรฐาน ACI ได้มีข้อกำหนดขนาดต่ำสุดของเสาไว้ดังนี้

เสาหลัก (Principal columns) ซึ่งรองรับแผ่นพื้นหรือหลังคา และต่อเนื่องกันจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่ง ถ้าเป็นเสากลมจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 25 cm. และในกรณีที่เป็นเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัสหรือเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้า ด้านแคบสุดจะต้องไม่น้อยกว่า 20 cm. และมีพื้นที่หน้าตัดทั้งหมด Ag ไม่น้อยกว่า 620 $cm.^2$

เสาประกอบ (Auxiliary columns) ซึ่งได้แก่เสาที่วางอยู่บนคานหรือตำแหน่งอื่นๆ ซึ่งไม่ต่อเนื่องกันจากชั้นหนึ่งไปยังอีกชั้นหนึ่งอาจจะมีขนาดเล็กกว่า แต่ต้องไม่ต่ำกว่า 15 cm.

5.2.2.2 พิกัดสำหรับเหล็กในเสา

ก. พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมยืนสำหรับเสา จะต้องไม่น้อยกว่า 0.01 และไม่มากกว่า 0.08 ของพื้นที่หน้าตัดเสา Ag ($1\% < \rho g < 8\%$) ขนาดของเหล็กยืนต้องไม่เล็กกว่า 12 mm. สำหรับเสากลมจะต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 6 เส้น และเสาสี่เหลี่ยมจะต้องมีเหล็กยืนไม่น้อยกว่า 4 เส้น

ข. อัตราส่วน จำนวนของเหล็กปลอกเกลียว ρs จะต้องไม่น้อยกว่าค่าที่คำนวณจากสมการ

$$Ps = 0.45\left(\frac{Ag}{Ac}-1\right)\frac{fc'}{fy}$$

โดยที่ fy คือ กำลังคลากของเหล็กปลอกเกลียว แต่ต้องไม่เกิน 4,200 ksc.

Ps คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของเหล็กปลอกเกลียว กับปริมาตรของเหล็กแกนเสา วัดที่ขอบนอกของเหล็กปลอกเกลียว $= \frac{Vs}{Vc}$

ค. เสาปลอกเดี่ยว ต้องใช้เหล็กปลอกขนาดไม่เล็กกว่า 6 mm. และมีระยะห่างไม่เกิน 16 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กยืน หรือ 48 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางเหล็กปลอกและไม่ห่างกันมากกว่าด้านแถบของเสา

ง. เหล็กปลอกเกลียว ของเสาต้องพันต่อเนื่องสม่ำเสมอมีระยะช่องว่างระหว่างเกลียวห่างไม่เกิน 7 cm. และไม่แคบกว่า 3 cm. หรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด เส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กปลอกเกลียวต้องไม่เล็กกว่า 6 mm. (ระยะเยื้องศูนย์ถึงศูนย์ของเหล็กปลอกเกลียว จะต้องไม่เกิน $\frac{1}{6}$ ของเส้นผ่าศูนย์กลางแกนคอนกรีต)

5.2.2.3 ความหนาของคอนกรีตที่หุ้มเหล็กเสริม (วัดจากผิวเหล็ก) เสาปลอกเกลียวและเสาปลอกเดี่ยว คอนกรีตหุ้มเหล็กที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับแกนคอนกรีต จะต้องมีความหนาไม่น้อยกว่า 3 cm. หรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของวัสดุผสมหยาบใหญ่สุด

5.2.2.4 ระยะช่องว่าง (Clear spacing) ระหว่างเหล็กยืนของเสาปลอกเกลียวหรือเสาปลอกเดี่ยวจะต้องไม่แคบกว่า $1\frac{1}{2}$ เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กนั้น หรือ $1\frac{1}{2}$ เท่าของวัสดุผสมหยาบ หรือ 4 cm.

5.2.2.5 เสาเดี่ยวเหล็กปลอกเกลียว ขนาดของเสาขอบนอกสุดให้ถือว่าห่างจากผิวของเหล็กปลอกเกลียวชิ้นนอกสุด ออกไปเป็นระยะตามที่กำหนดไว้ในข้อ (5.2.2.3) ข้างต้น

5.2.2.6 พิกัดหน้าตัดของเสาที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับผนัง ค.ส.ล. สำหรับเสาปลอกเกลียวที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับผนัง หรือตอม่อ ค.ส.ล. ขนาดของเสาขอบนอกสุดให้ถือว่าห่างจาก

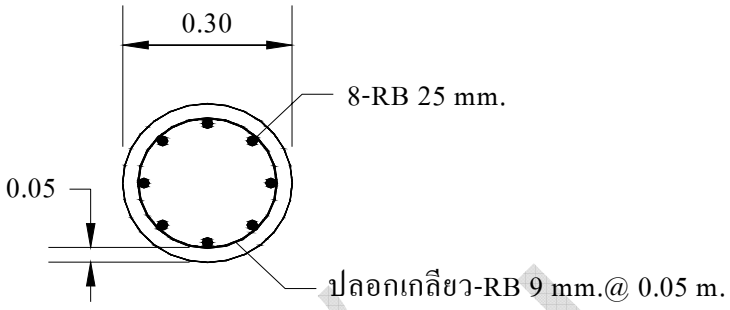
ผิวของเหล็กปลอกเกลียววัดนอกออกไปเป็นระยะไม่น้อยกว่า 3 cm. ไม่ว่าจะเป็นเสากลม สี่เหลี่ยมจัตุรัส หรือสี่เหลี่ยมผืนผ้า

5.2.2.7 การเปรียบเทียบเสมือนเสากลม เสาที่คำนวณออกแบบเป็นเสากลมนั้น อาจจะสร้างเป็นเสารูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แปดเหลี่ยม หรือรูปอื่นๆ ก็ได้ โดยมิติตามขวางที่แคบที่สุดของเสา จะต้องไม่ต่ำกว่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเสากลมนั้น ส่วนความสามารถในการรับน้ำหนักและพื้นที่หน้าตัดในการคำนวณร้อยละของเหล็กเสริมให้เป็นไปตามแบบในการคำนวณเสากลม

5.2.2.8 พิกัดหน้าตัดของเสา เสาปลอกเดี่ยวที่มีหน้าตัดมากกว่าความต้องการในการรับน้ำหนัก การหาปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด และความสามารถในการรับน้ำหนัก ให้คำนวณจากพื้นที่หน้าตัด Ag ที่ลดลงได้ แต่ค่า Ag นั้นจะต้องไม่ต่ำกว่าครึ่งหนึ่งของหน้าตัดจริง

ตัวอย่าง 5.1 จงออกแบบเสากลมปลอกเกลียวซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 cm. รับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน 48 ตัน กำหนดให้ fy = 2,400 ksc. f_c' = 100 ksc.

<u>วิธีทำ</u>



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตัวอย่างที่ 5.2 จงออกแบบ เสา ค.ส.ล. สี่เหลี่ยมจัตุรัส ชนิดเสาปลอกเดี่ยว เพื่อให้รับน้ำหนักปลอดภัยตามแนวแกน 22,000 kg. กำหนดให้ fy = 2,500 ksc. f_c' = 100 ksc.

<u>วิธีทำ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

5.3 เสายาว

เสายาว หมายถึง เสาที่มีขนาดหน้าตัดน้อยมาก เมื่อเทียบกับความยาวเสา ความชะลูดของเสา จะวัดจากอัตราส่วนความชะลูด $\frac{h}{r}$ โดย h เป็นความยาวอิสระของเสา และ r เป็นรัศมีไจเรชั่นของหน้าตัดเสา $\left(r = \sqrt{\frac{I}{A}}\right)$ หรือ $\frac{h}{t} > 15$ หรือ $\frac{h}{D} > 15$ เราจะถือว่าเป็นเสายาว ต้องลดกำลังของเสาลงจากที่คำนวณได้จากสมการของเสาสั้น โดยคูณด้วยตัวลดกำลังของเสา (R) ซึ่งค่า R นี้ขึ้นอยู่กับความชะลูดของเสา และมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับหนึ่ง

ความชะลูดของเสา = $\frac{h}{r}$

เมื่อ r = รัศมีไจเรชั่น = $\sqrt{\frac{I}{A}}$

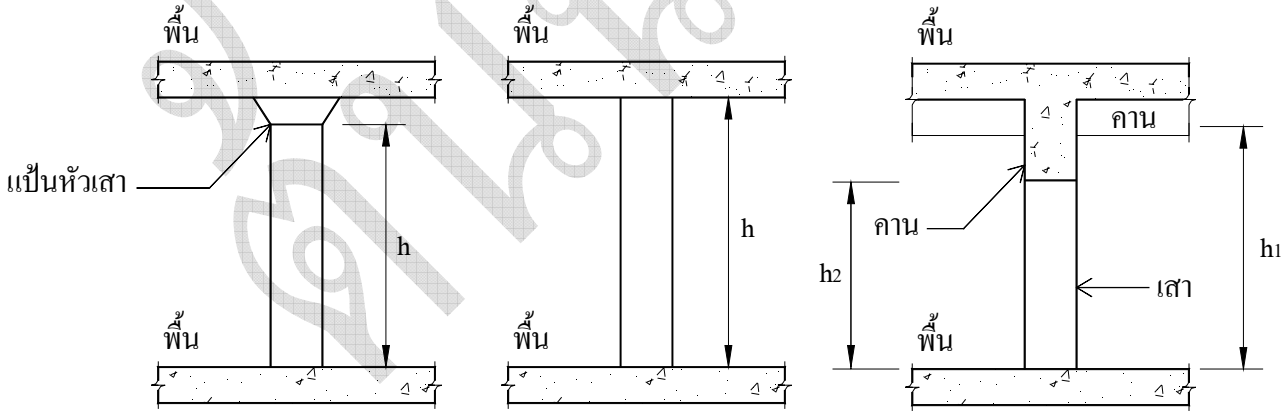
r = 0.3t สำหรับเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้า

r = 0.25D สำหรับเสากลม

t = หน้ากว้างของเสาสี่เหลี่ยมผืนผ้าบนระนาบที่พิจารณา

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของเสากลม

h = ความสูงอิสระของเสาตามรูป



รูปที่ 5.2 แสดงระยะความสูงอิสระของเสา

$$P_{\text{เสาสั้น}} = \frac{P_{\text{เสายาว}}}{R}$$

หรือ $P_{\text{เสายาว}} = P_{\text{เสาสั้น}} \times R$ สมการที่ 5.7

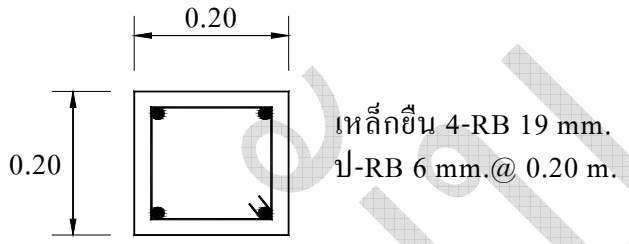
กรณีเมื่อเสารับน้ำหนักตามแนวแกนอย่างเดียว มาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดให้ใช้

$$R = 1.07 - 0.008\frac{h}{r} \leq 1$$

โดยที่ R คือ ตัวลดกำลังของเสา

ตัวอย่างที่ 5.3 จงหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมเหล็กดังรูป ซึ่งมีความยาวอิสระ 4.0 m. กำหนดให้ fy = 2,400 ksc. f_c' = 111 ksc. n = 13

<u>วิธีทำ</u>



.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....
.....

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

1. ให้ออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็กกลมเป็นเสาปลอกเกลียว เพื่อรับน้ำหนักโดยปลอดภัยตามแนวแกน 50,000 kg. กำหนดให้ f_c' = 160 ksc. fy = 4,000 ksc.

2. ให้ออกแบบเสาสี่เหลี่ยมจัตุรัส เพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกน 50,000 kg. กำหนดให้ f_c' = 160 ksc. fy = 4,000 ksc.

ตัวอย่าง

แผนบริหารการสอนประจำหน่วยที่ 6

เวลาที่ใช้สอน 9 ชั่วโมง

หัวข้อเนื้อหาประจำหน่วย

1. ประเภทของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. การกระจายน้ำหนัก
3. การพิจารณาโมเมนต์ดัด แรงยึดเหนี่ยว และแรงเฉือน
4. ความหนาต่ำสุดของฐานราก
5. ฐานรากสำหรับเสากลม
6. คอนกรีตหยาบก้นหลุมฐานราก

จุดประสงค์การเรียนรู้

1. อธิบายประเภทของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กได้อย่างถูกต้อง
2. อธิบายหลักการกระจายน้ำหนักได้อย่างถูกต้อง
3. สามารถพิจารณาโมเมนต์ดัด แรงยึดเหนี่ยว และแรงเฉือนได้
4. สามารถคำนวณหาความหนาต่ำสุดของฐานรากได้
5. อธิบายชนิดของฐานรากสำหรับเสากลมได้อย่างถูกต้อง
6. อธิบายความหมายของคอนกรีตหยาบก้นหลุมฐานรากได้

แนวคิดในการสอน

เพื่อให้นักศึกษาสามารถอธิบายองค์อาคารในส่วนของฐานราก ได้แก่ประเภทของฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก หลักการกระจายน้ำหนัก การพิจารณาโมเมนต์ดัด แรงยึดเหนี่ยว แรงเฉือน การคำนวณหาความหนาต่ำสุดของฐานราก บอกชนิดของฐานรากสำหรับเสากลมได้ บอกความหมายของคอนกรีตหยาบก้นหลุมฐานราก สามารถคำนวณออกแบบฐานรากซึ่งเป็นโครงสร้างส่วนที่สำคัญของอาคาร

วิธีการสอนและกิจกรรมการเรียนการสอน

1. บอกจุดประสงค์การเรียนรู้
2. สอนแบบบรรยาย
3. นักเรียนได้เรียนรู้และจดบันทึก
4. ครู นักเรียน สรุป ทบทวนความรู้ความเข้าใจ
5. นักเรียนทำแบบฝึกหัดท้ายบท

สื่อการเรียนการสอน

1. สื่อ Power point
2. สื่อแผ่นใส
3. เอกสารประกอบการเรียนการสอน วิชา การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก
4. แบบฝึกหัดท้ายบท

การวัดผลและประเมินผล

1. การตอบคำถาม และการอภิปราย
2. การทำแบบฝึกหัดท้ายบท

หน่วยที่ 6
ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

ฐานรากเป็นโครงสร้างของอาคารอยู่ใต้ผิวดิน ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากเสาหรือกำแพงแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ดิน การถ่ายน้ำหนักจากฐานรากลงสู่ดิน มี 2 วิธี คือ วิธีแรกใช้ฐานรากวางบนดินแล้วถ่ายจากอาคารลงสู่ดินโดยตรง เรียกว่า ฐานแผ่ (Spread footing) เช่น ใช้ในบริเวณที่ใกล้ภูเขาหรือดินนั้นเป็นดินลูกรังหรือทรายแน่น แต่ถ้าสภาพดินใต้ฐานรากเป็นดินอ่อน หรือเป็นดินที่มีคุณภาพไม่ดีรับแรงกดได้น้อย ซึ่งจะใช้ฐานรากแบบวิธีแรกไม่ได้เพราะต้องใช้ฐานขนาดใหญ่มากซึ่งจะเป็นการสิ้นเปลือง ดังนั้นการถ่ายน้ำหนักจากฐานรากลงสู่ดินในวิธีนี้จะใช้เสาเข็ม เป็นตัวรับน้ำหนักจากโครงสร้างของอาคารแล้วถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินโดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างผิวเสาเข็มกับดินรอบ ๆ เสาเข็ม เรียกฐานชนิดนี้ว่า ฐานรากใช้เสาเข็มแบบ Skin friction pile และถ้าฐานรากถ่ายน้ำหนักโดยอาศัยแรงกดที่ปลายเสาเข็ม เรียกฐานชนิดนี้ว่า เป็นฐานรากใช้เสาเข็มแบบ End bearing pile การใช้เสาเข็มรับน้ำหนักบรรทุกจากฐานราก อาจจะใช้เสาเข็มต้นเดียว หรือหลาย ๆ ต้นช่วยกันรับน้ำหนักก็ได้

6.1 ประเภทของฐานราก

ฐานรากนอกจากจะแบ่งออกเป็น 2 ชนิดแล้ว คือ ฐานรากชนิดฐานแผ่ กับฐานราก วางบนเสาเข็มแล้ว แต่ละชนิดยังแบ่งออกเป็นหลาย ๆ แบบ ตามรูปร่างและลักษณะการใช้งาน ดังนี้

6.1.1 ฐานรากใต้กำแพง (Wall footing)

ฐานรากใต้กำแพง (Wall footing) เป็นฐานรากที่ใช้รับน้ำหนักจากผนังหรือกำแพงเป็นฐานที่ยาวต่อเนื่อง ตลอดความยาวของแนวผนังหรือกำแพง

6.1.2 ฐานรากเดี่ยว (Isolated footing)

ฐานรากเดี่ยว (Isolated footing) เป็นฐานรากที่ใช้รับน้ำหนักจากเสาต้นเดียว รูปร่างของฐานอาจเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส สี่เหลี่ยมผืนผ้า สามเหลี่ยม หรือกลมก็ได้

6.1.3 ฐานรากร่วม (Combined footing)

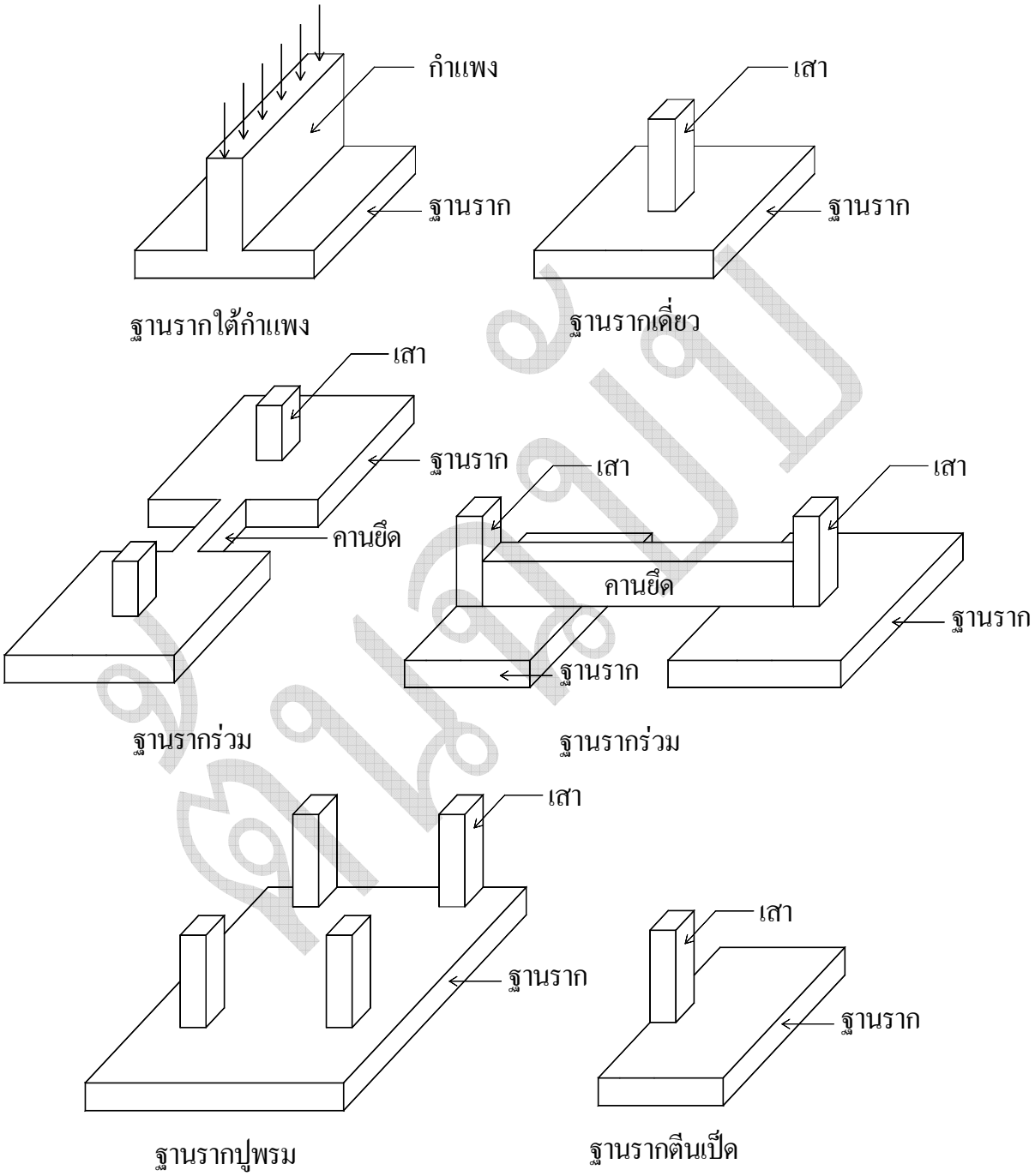
ฐานรากร่วม (Combined footing) เป็นฐานรากที่ใช้รับน้ำหนักจากเสาสองต้นหรือมากกว่าใช้เมื่อเสาสองต้นอยู่ใกล้กันมาก อาจเลือกใช้ฐานชนิดนี้ชิดแนวเขตที่ดินโดยทำเป็นฐานชนิดมีคานยึดระหว่างเสา หรือไม่มีก็ได้

6.1.4 ฐานรากแบบปูพรม (Raft footing)

ฐานรากแบบปูพรม (Raft footing) เป็นฐานรากที่รับน้ำหนักจากเสาหลาย ๆ ต้นคล้ายฐานรากร่วม ฐานรากชนิดนี้จะกระจายแผ่บนพื้นที่กว้าง ๆ และบางครั้งก็อาจแผ่กระจายเต็มอาคาร

6.1.5 ฐานรากตีนเป็ด (Cantilever footing)

ฐานรากตีนเป็ด (Cantilever footing) เป็นฐานรากที่รับน้ำหนักบรรทุกจากเสาต้นที่อยู่ชิดเขตที่ดิน ทำให้เกิดน้ำหนักเยื้องกับศูนย์ถ่วงของฐาน

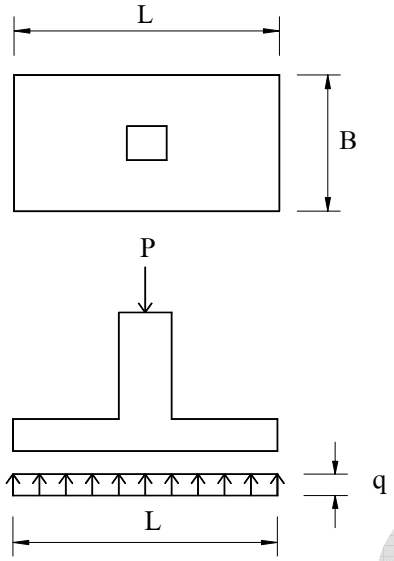


รูปที่ 6.1 แสดงรูปแบบของฐานรากชนิดต่างๆ

6.2 การกระจายน้ำหนัก

6.2.1 ฐานรากวางบนดิน

เมื่อฐานรากวางบนดินและรับน้ำหนักตามแนวแกน ซึ่งน้ำหนักผ่านจุดศูนย์ถ่วงของฐานราก การกระจายน้ำหนักให้ถือหน่วยแรงดันขึ้นของดินใต้ฐานรากมีค่าเท่ากันสม่ำเสมอกันทุกจุด และหาค่าหน่วยแรงดันขึ้นของดิน ได้จาก



$$q = \frac{P}{AF} = \frac{P}{B.L}$$

เมื่อ q = หน่วยแรงดันขึ้นของดิน

P = น้ำหนักของอาคารทั้งหมดลงสู่ฐานราก

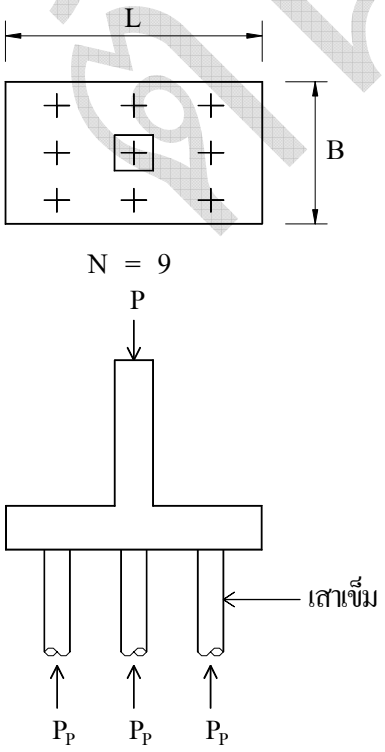
A_F = พื้นที่ของฐานราก

B , L = ความกว้างและความยาวของฐานรากสี่เหลี่ยมผืนผ้า

รูปที่ 6.2 แสดงลักษณะของฐานรากวางบนดิน

6.2.2 ฐานรากวางบนเสาเข็ม

เมื่อใช้ฐานรากวางบนเสาเข็ม ซึ่งเมื่อรับน้ำหนักตามแนวแกน เสาเข็มแต่ละต้นจะรับน้ำหนักจากฐานรากเฉลี่ยเท่ากันทุกต้น ดังนี้



$$P_P = \frac{P}{N}$$

เมื่อ P = น้ำหนักของอาคารทั้งหมดลงสู่ฐานราก

P_P = น้ำหนักที่ลงบนเสาเข็ม แต่ละต้นหรือน้ำหนักที่เสาเข็มแต่ละต้นจะรับไว้

N = จำนวนเสาเข็ม

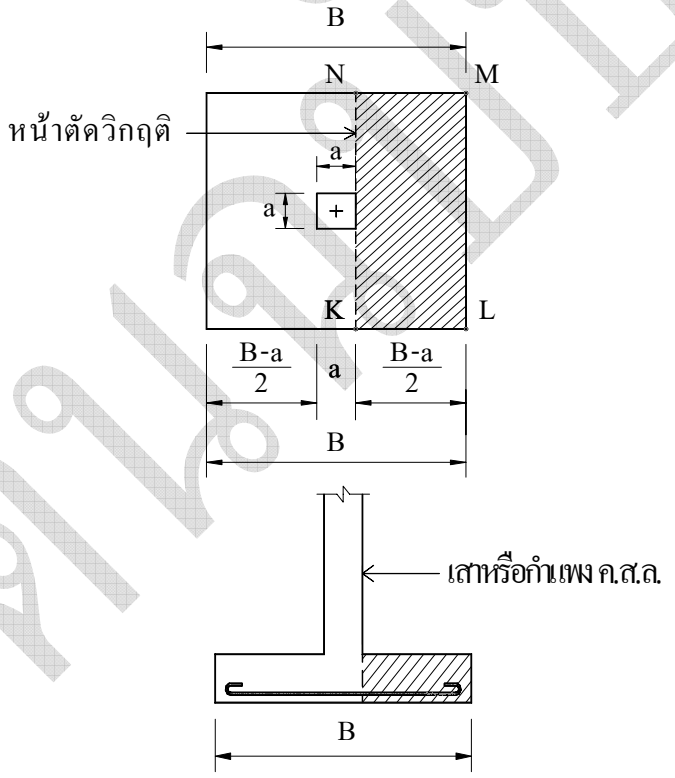
รูปที่ 6.3 แสดงลักษณะของฐานรากวางบนเสาเข็ม

6.3 การพิจารณาโมเมนต์ดัด แรงยึดเหนี่ยว และแรงเฉือน

การออกแบบฐานรากจะต้องพิจารณาถึงหน่วยแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในฐานราก คือ โมเมนต์ดัด แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตกับเหล็กเสริม และแรงเฉือน ดังนั้นการออกแบบฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก จึงจำเป็นต้องออกแบบหาความหนาของฐานราก ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้เพื่อให้เพียงพอสำหรับแรงต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น

6.3.1 หน้าตัดวิกฤติสำหรับโมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยว (Critical section for bending and bond)

การคำนวณค่าโมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยวที่เกิดขึ้น เนื่องจากแรงดันขึ้นของดินหรือแรงดันขึ้นของเสาเข็มให้ถือว่าขอบเสาหรือขอบตอม่อเป็นหน้าตัดวิกฤติ (Critical section) สำหรับคำนวณหาค่าโมเมนต์ดัด และแรงยึดเหนี่ยวสูงสุดที่เกิดขึ้นของฐานรากเดี่ยวแบบกำแพงหรือเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก



รูปที่ 6.4 แสดงตำแหน่งการเกิดโมเมนต์ดัดและแรงยึดเหนี่ยวในฐานราก

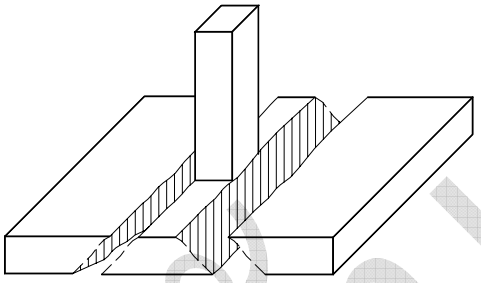
M = โมเมนต์ ให้พิจารณาความ ยาวที่ใช้คำนวณค่าโมเมนต์ที่ความยาวตัดวิกฤติ คือ $\frac{B-a}{2}$

V = แรงเฉือนที่ใช้คำนวณแรงยึดเหนี่ยวคำนวณได้จากแรงดันขึ้นของดินหรือเสาเข็มในพื้นที่ KLMN

6.3.2 การคำนวณความต้านทานแรงเฉือน

แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในฐานรากให้แยกพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ซึ่งฐานรากจะต้องมีความหนาเพียงพอที่จะสามารถต้านทานแรงเฉือนที่เกิดขึ้นได้ทั้ง 2 กรณี

6.3.2.1 พิจารณาว่าฐานรากเป็นคานกว้าง มีแนวร้าวเนื่องจากแรงดึงทะแยงตามระนาบเฉียง ตลอดความกว้างของฐานราก และห่างจากขอบเสาตอม่อในระยะ d เป็นหน้าตัดวิกฤติ



รูปที่ 6.5 แสดงรูปแบบการเสียหายของฐานรากแบบคานกว้าง

แรงเฉือน (V) ที่เกิดขึ้นทั้งหมดให้คำนวณจากแรงดันขึ้นของดินหรือเสาเข็มที่อยู่ในพื้นที่ PQRS

$V = A_{(PQRS)} \times q$ Spread footing

$V = N_{(PQRS)} \times P_P$ Footing on pile

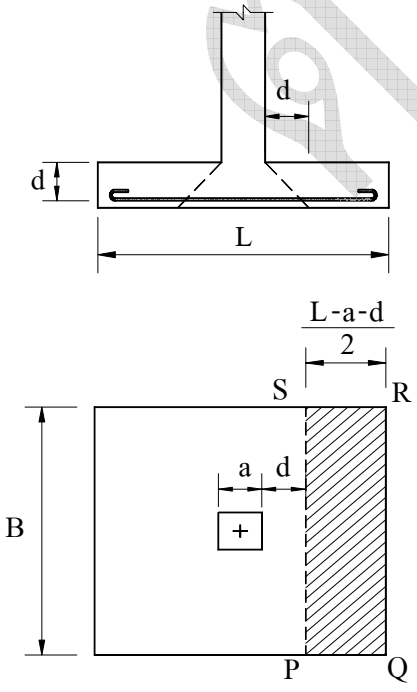
ซึ่งค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $v = \frac{V}{bd}$ จะต้องไม่เกินหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $v_c = 0.29\sqrt{fc'}$

$$v = \frac{V}{bd} < 0.29\sqrt{fc'}$$

เมื่อ V = แรงเฉือนที่เกิดขึ้น

b = B ความกว้างของฐานราก

d = ความหนาประสิทธิผลของฐานราก



รูปที่ 6.6 แสดงการพิจารณาการเกิดแรงเฉือนแบบคานกว้างในฐานราก

6.3.2.2 พิจารณาแรงเฉือนแบบแรงเฉือนทะลุ (Punching shear) โดยพิจารณาว่าแนวร้าวที่ฐานรากเป็นแบบเฉือนทะลุ ตามเส้นรอบขอบเสาหรือรอบขอบตอม่อ เป็นระยะห่างเท่ากับ $\frac{d}{2}$ ซึ่งเป็นหน้าตัดวิกฤติตามเส้น PQRS

$V_P = [\, A_{(ABCD)} - A_{(PQRS)} \,] \times q$ Spread footing

$V_P = N_{(EXT.\,PQRS)} \times P_P$ Footing on pile

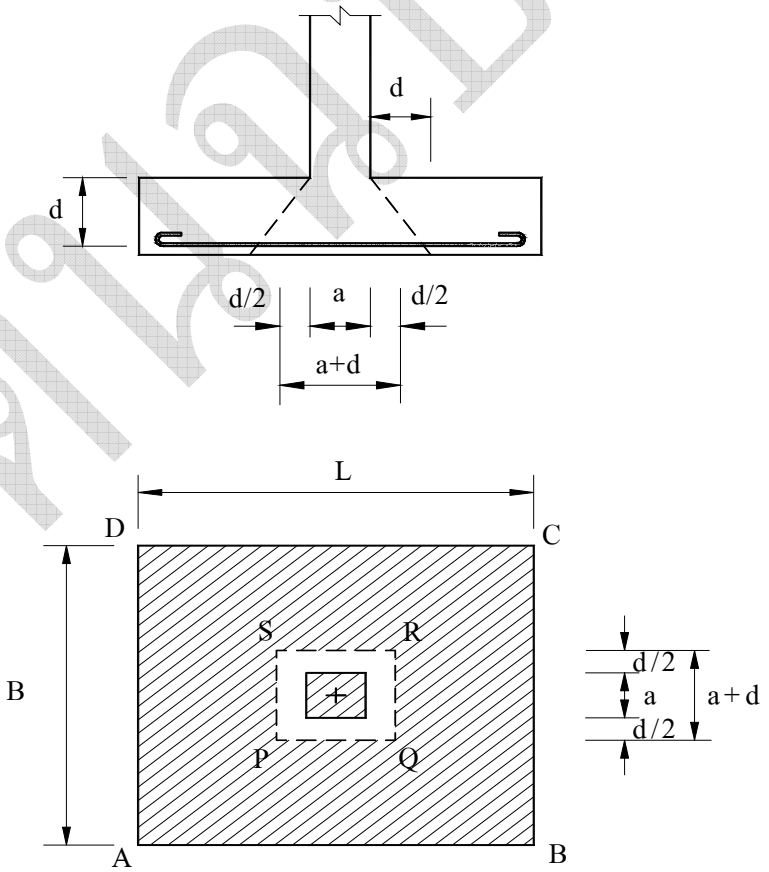
ซึ่งค่าหน่วยแรงเฉือนที่เกิดขึ้น $v_P = \frac{V_P}{b'.d}$ จะต้องไม่เกินหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ $v_C = 0.53\sqrt{fc'}$

$$v_P = \frac{V_P}{b'.d} < 0.53\sqrt{fc'}$$

เมื่อ V_P = แรงเฉือนทะลุที่เกิดขึ้น (พื้นที่นอก PQRS)

b' = เส้นรอบรูป PQRS

d = ความหนาประสิทธิผลของฐานราก



รูปที่ 6.7 แสดงการพิจารณาการเกิดแรงเฉือนแบบแรงเฉือนทะลุในฐานราก

การคิดแรงเฉือนที่เกิดจากแรงดันขึ้นของเสาเข็มใกล้หน้าตัดวิกฤติของการพิจารณาแรงเฉือนทั้งสองกรณีให้ลดค่าแรงดันขึ้นของเสาเข็มตามส่วนที่ต้องลดลงโดยพิจารณาว่า เสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติเข้ามา หรือ ออกไป 15 cm. หรือมากกว่า 15 cm. ซึ่งคำนวณได้ดังนี้

1. ถ้าเสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติเข้ามาใกล้ขอบเสา 15 cm. หรือมากกว่า 15 cm. ไม่ต้องนำแรงดันจากเสาเข็มนั้นไปคิดแรงเฉือน ($P' = 0$)

2. ถ้าเสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติออกไปจากขอบเสา 15 cm. หรือมากกว่า 15 cm. ให้คิดแรงเฉือนเนื่องจากแรงดันขึ้นของเสาเข็มเต็มกำลัง ($P' = P_P$)

3. ถ้าเสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติน้อยกว่า 15 cm. เข้ามาใกล้ขอบเสาหรือห่างออกไปจากขอบเสาน้อยกว่า 15 cm. ให้ลดแรงดันขึ้นของเสาเข็มลง โดยใช้ค่าแรงดันขึ้นประสิทธิผลจากสมการ

$$P' = \frac{1}{30}(X + 15)P$$

เมื่อ P' = แรงดันขึ้นประสิทธิผลของเสาเข็ม

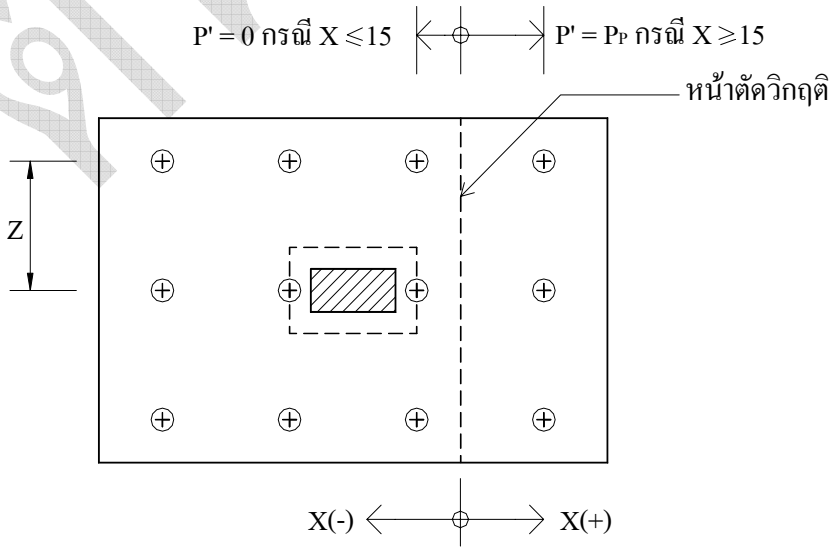
P = แรงดันขึ้นเต็มกำลังของเสาเข็ม

X = ระยะทางระหว่างหน้าตัดวิกฤติกับศูนย์กลางของเสาเข็มที่พิจารณา

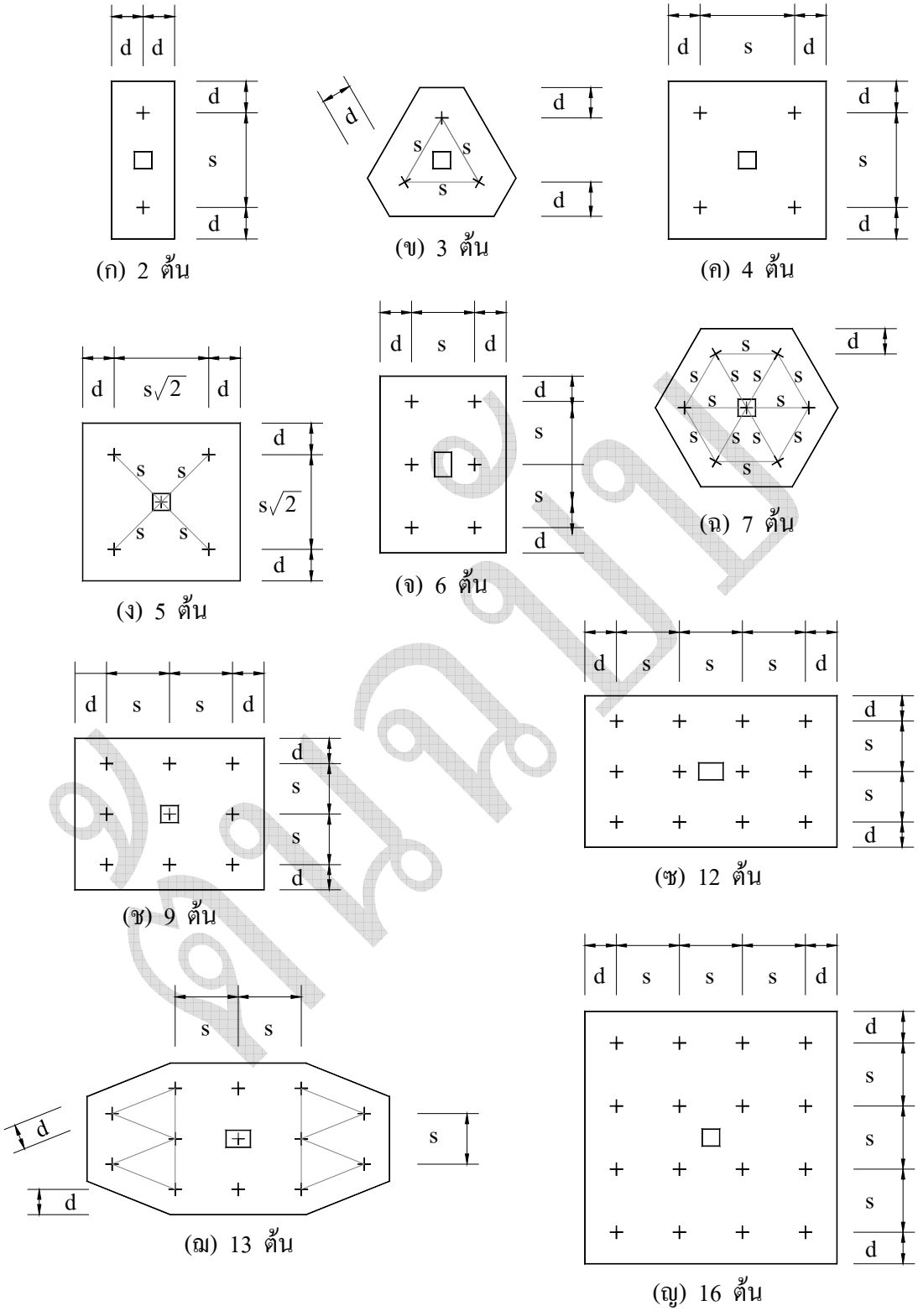
โดย X มีค่าเป็นบวก เมื่อเสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติออกไปจากขอบเสา

X มีค่าเป็นลบ เมื่อเสาเข็มอยู่ห่างจากหน้าตัดวิกฤติเข้ามาใกล้ขอบเสา

Z = ระยะห่างระหว่างเสาเข็ม โดยปกติจะใช้ระยะห่างของเสาเข็มแต่ละต้นเท่ากับ 3 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม



รูปที่ 6.8 แสดงการคิดกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มที่ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 6.9 รูปแบบการจัดตำแหน่งเสาเข็ม

6.3.3 การเสริมเหล็ก

จะต้องเสริมเหล็กแต่ละทางให้มีปริมาณมากพอที่จะต้านโมเมนต์ดัด และแรงยึดเหนี่ยวอย่างเพียงพอที่หน้าตัดวิกฤติ และต้องกระจายเหล็กให้สม่ำเสมอตลอดความกว้างของฐานรากในแต่ละทางด้วย ทั้งฐานรากที่เสริมเหล็กทางเดียวและฐานรากที่เสริมเหล็กสองทาง

ในกรณีที่ฐานรากมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า เหล็กเสริมที่ใช้เสริมวางทางด้านยาวจะต้องกระจายให้สม่ำเสมอเท่ากับตลอดความกว้างของด้านสั้น

และปริมาณเหล็กเสริมที่วางทางด้านสั้น จะต้องกระจายให้สม่ำเสมอเป็นสองแบบ คือ แถบกลางและแถบริม โดยมีปริมาณดังนี้

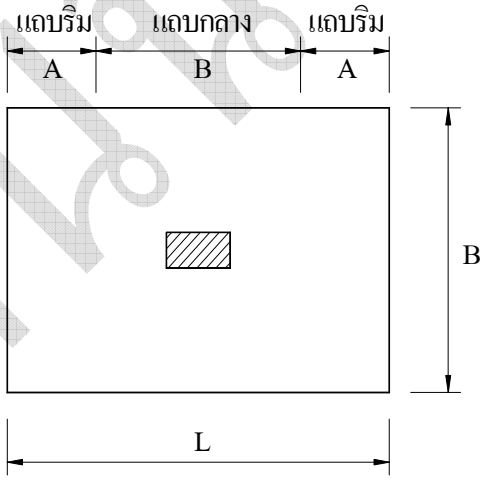
ปริมาณเหล็กเสริมในแถบกลางที่กว้าง B , $As_B = \frac{2}{\frac{L}{B}+1} \times As_S$

ปริมาณเหล็กเสริมในแถบริมที่กว้าง A , $As_A = \frac{As_S - As_B}{2}$

เมื่อ A_{SB} = ปริมาณเหล็กเสริมในแถบกลาง

A_{SA} = ปริมาณเหล็กเสริมในแถบริม

A_{SS} = ปริมาณเหล็กเสริมที่ใช้ในด้านสั้นทั้งหมด



รูปที่ 6.10 แสดงระยะการเสริมเหล็กฐานรากรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

6.4 ความหนาต่ำสุดของฐานราก

6.4.1 ฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็ก

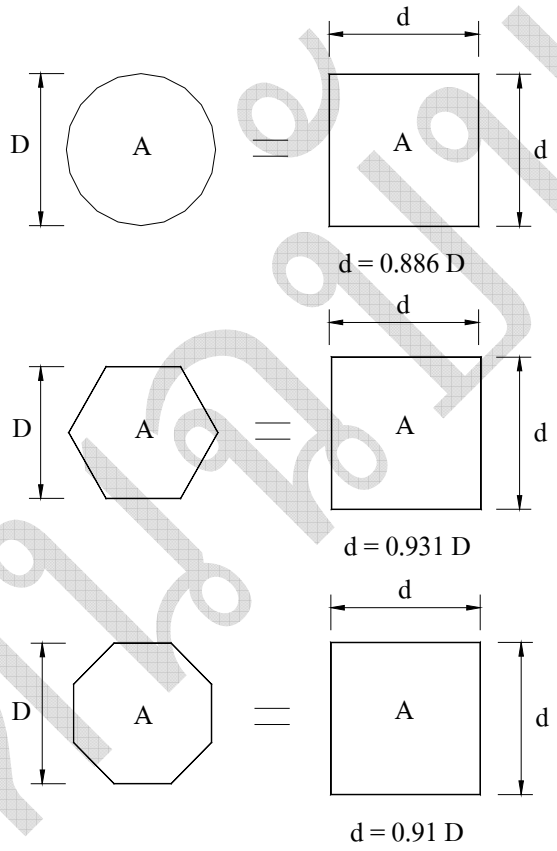
ความหนาของคอนกรีตเหนือเหล็กเสริมที่ขอบนอกของฐานรากต้องไม่น้อยกว่า 15 cm. และใต้เหล็กเสริม 5 cm.

6.4.2 ฐานรากคอนกรีตล้วนที่วางบนดิน

ความหนาที่ขอบนอกต้องไม่น้อยกว่า 20 cm. และฐานรากที่วางบนเสาเข็มต้องมีความหนาที่ขอบนอกไม่น้อยกว่า 35 cm. วัดจากหัวเสาเข็ม

6.5 ฐานรากสำหรับเสากลม

การคำนวณออกแบบฐานรากที่รับเสาตอม่อ แบบเสากลมหรือรูปเหลี่ยมต่าง ๆ ให้ถือว่าขอบเสาตอม่อนั้นเป็นขอบเสาตอม่อสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่มีเนื้อหน้าตัดเท่ากับเสาตอม่อกลมหรือเหลี่ยมนั้น



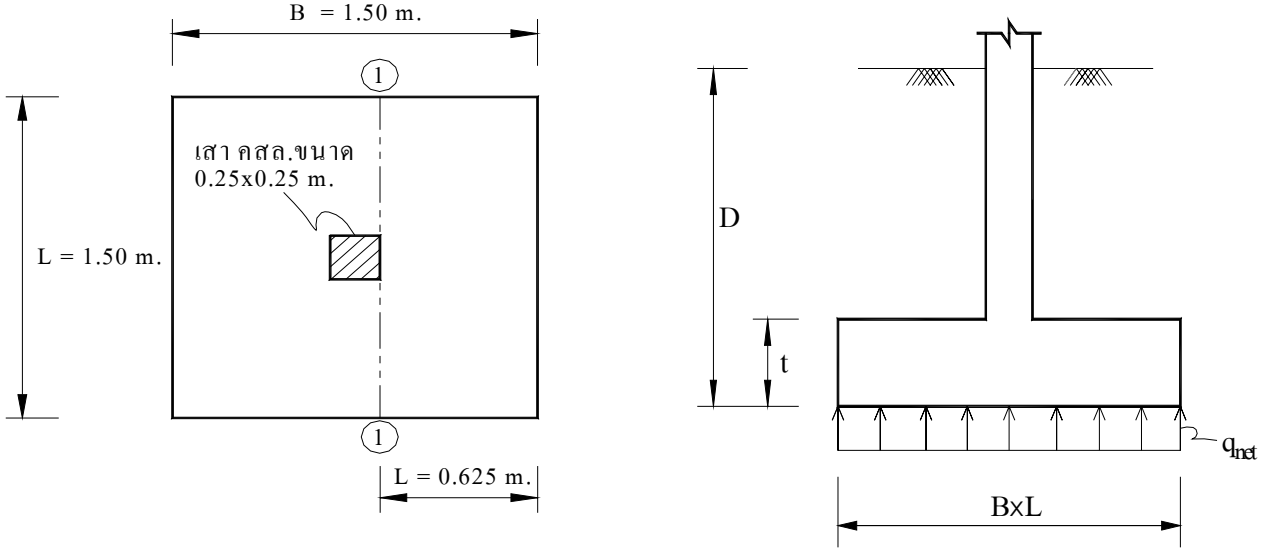
6.6 คอนกรีตหยาบก้นหลุมฐานราก

ในการทำฐานรากเมื่อขุดดินก้นหลุมทำฐานรากจนถึงระดับที่ต้องการแล้ว จะต้องโกยโคลนเลนก้นหลุมออกให้หมด แล้วจึงเอาทรายหรืออิฐหักกระทุ้งให้แน่นมีความหนาประมาณ 10 cm. เหนือขึ้นมาจึงเทคอนกรีตหยาบทับลงไปหนาประมาณ 5 cm. เพื่อปิดสิ่งสกปรกจากก้นหลุมมิให้มาเปื้อนเหล็กเสริมของฐานรากได้ จากนั้นจึงวางเหล็กเสริมของตอม่อบนเหล็กเสริมฐานราก และหนุนด้วยลูกปูนแล้วจึงเทคอนกรีตฐานรากต่อไป

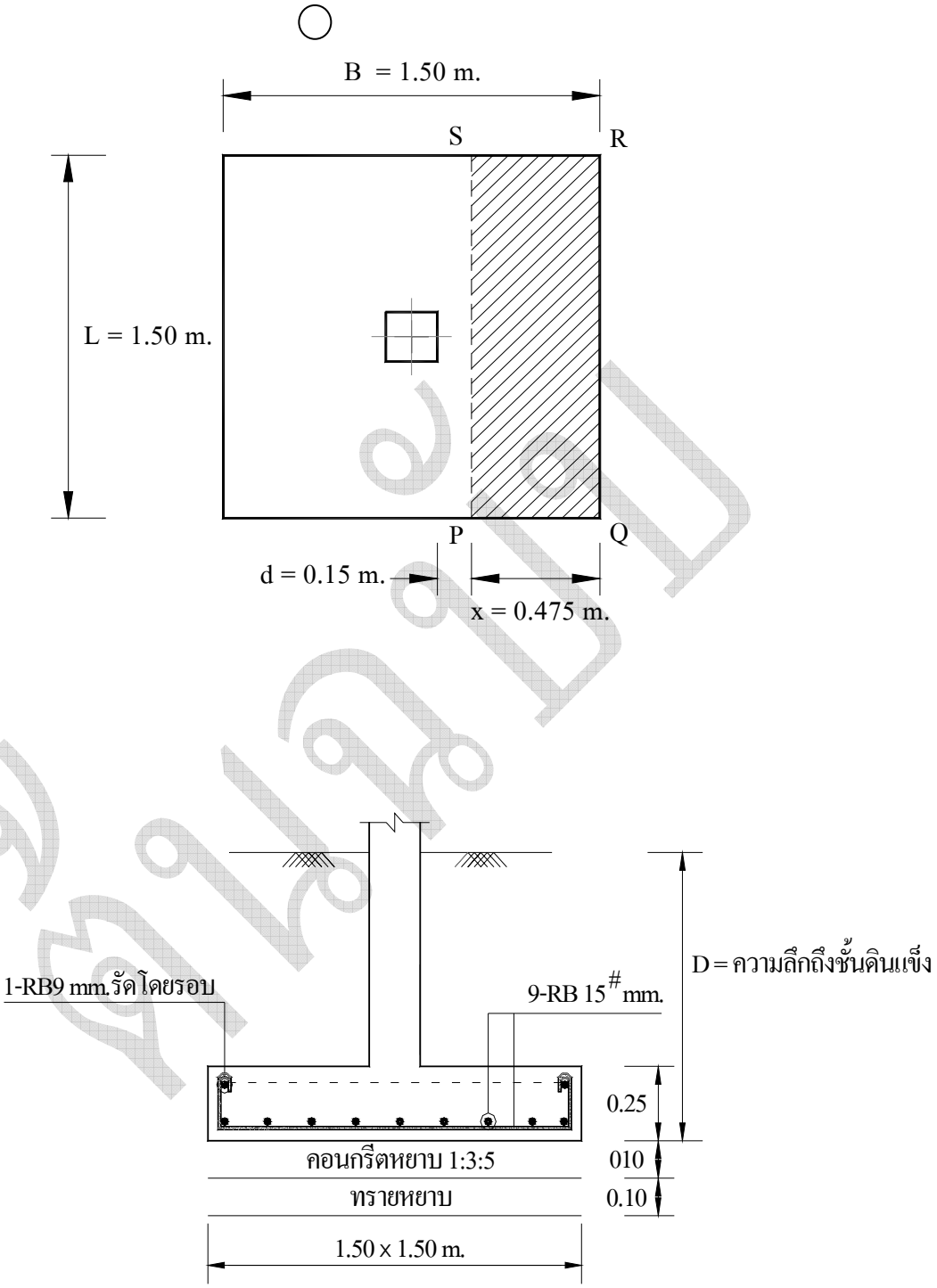
ตัวอย่างที่ 6.1

จงออกแบบฐานรากแผ่เพื่อรับน้ำหนักตามแนวแกนจากเสาเท่ากับ 25,000 kg. ขนาดหน้าตัดของเสา 25 x 25 cm. และดินสามารถรับน้ำหนักบรรทุกปลอดภัยเท่ากับ 10,000 kg./m.^{2} กำหนดให้ f_c' = 133 ksc f_c = 60 ksc f_s = 1,200 ksc n = 11

<u>วิธีทำ</u>



ลิขสิทธิ์



แสดงการเสริมเหล็กในฐานราก

ตัวอย่างที่ 6.2

จงออกแบบฐานรากแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า รับน้ำหนักตามแนวแกน 35 ตัน กำหนดให้ $f_c' = 175$ ksc. $f_y = 2{,}400$ ksc.

<u>วิธีทำ</u>

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

ตัวอย่าง

.....

.....

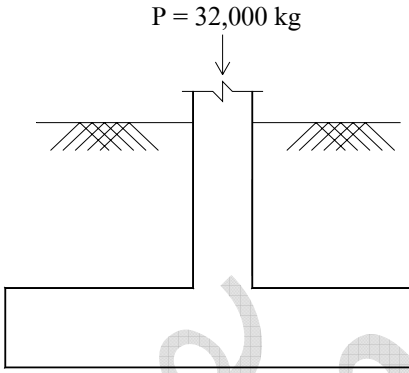
.....

.....○○.....

ตัวอย่างที่ 6.3

กำหนดให้ P_{max} = 32,000 kg. ขนาดเสา 25 x 25 cm. เสาเข็มขนาด 20 x 20 cm. กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม 4,350 kg./pile f_c' = 144 ksc. fs = 1,200 ksc. n = 11

<u>วิธีทำ</u>



.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

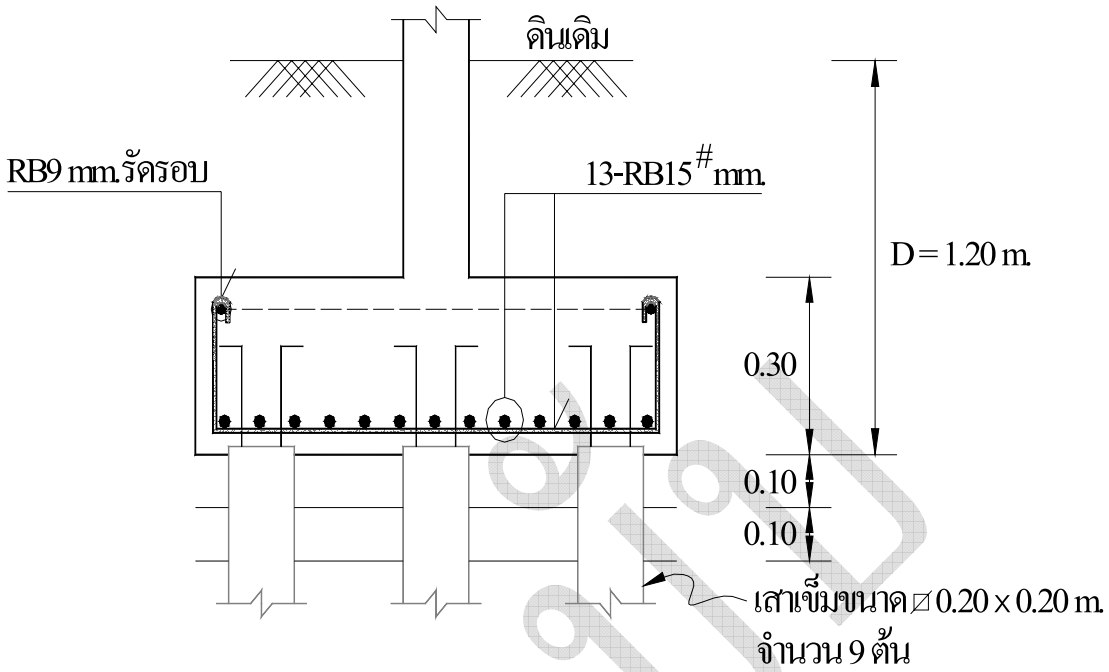
.....

.....

.....

.....

.....



แสดงการเสริมเหล็กในฐานราก

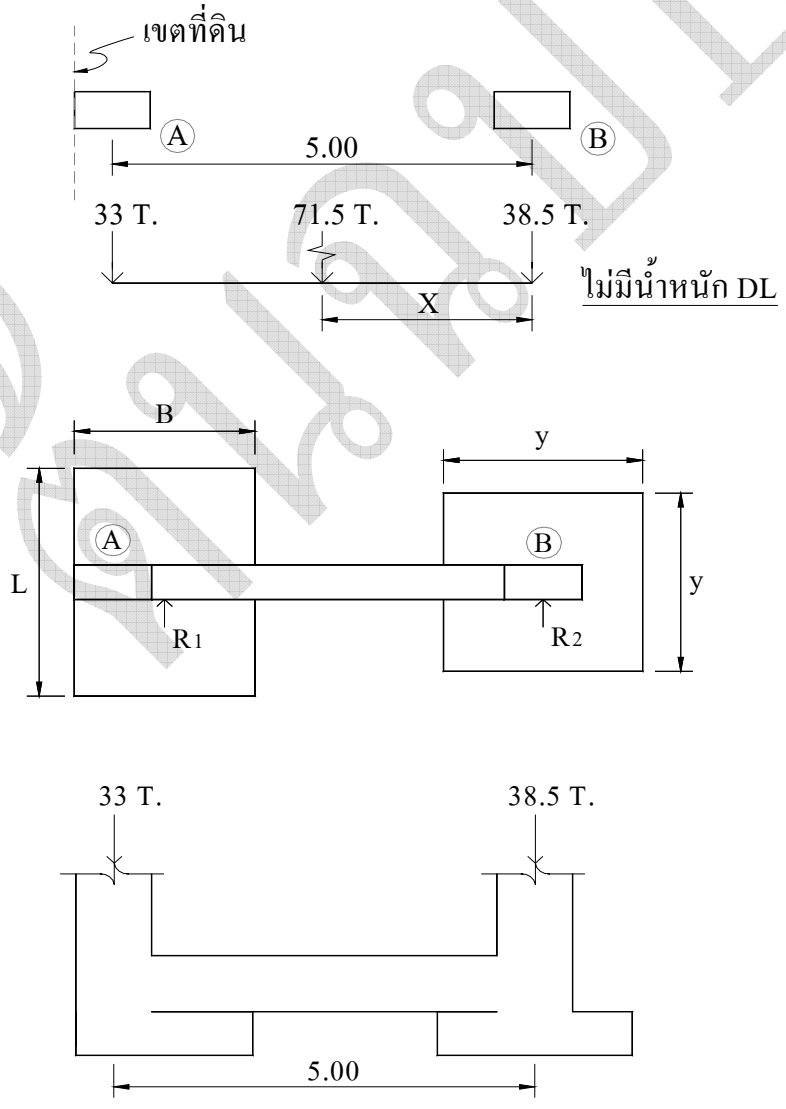
ตัวอย่างที่ 6.4

จากรูปแปลนโครงสร้างฐานราก จงออกแบบฐานรากให้เหมาะสม

<u>กำหนดให้</u> - ขนาดเสา 20 x 40 cm.

- เสา (A) รับน้ำหนัก 30 T
- เสา (B) รับน้ำหนัก 35 T
- ดินรับน้ำหนักปลอดภัยได้ 10 T/m^2
- ระยะห่างระหว่างเสา (A) และเสา (B) = 5 m.

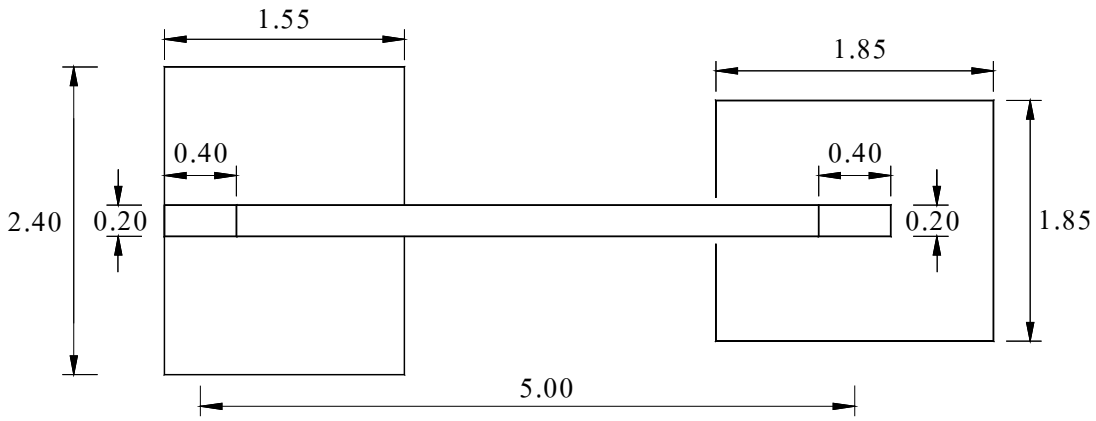
<u>วิธีทำ</u>



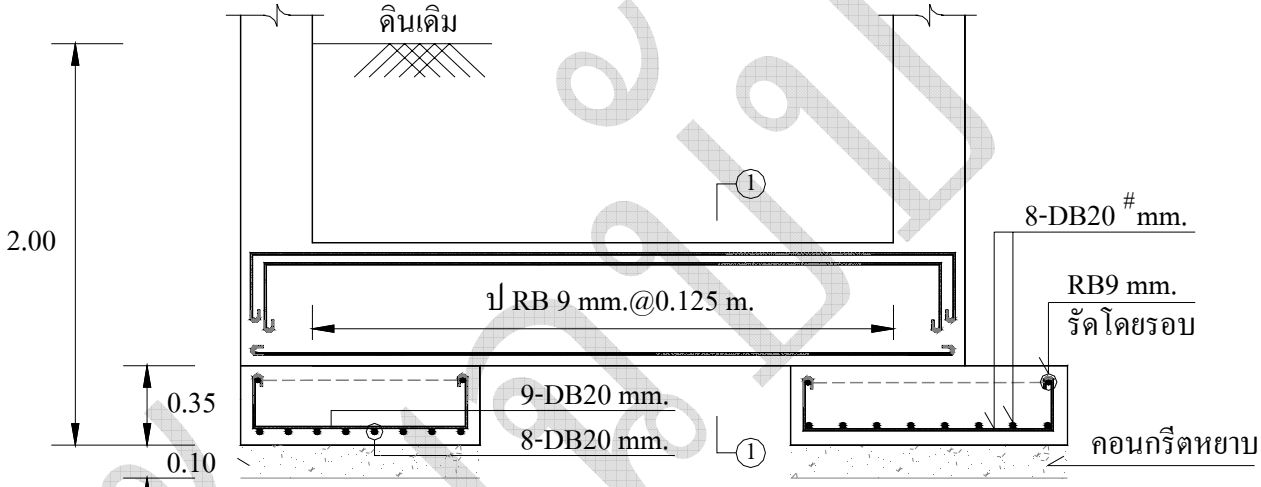
.....

.....

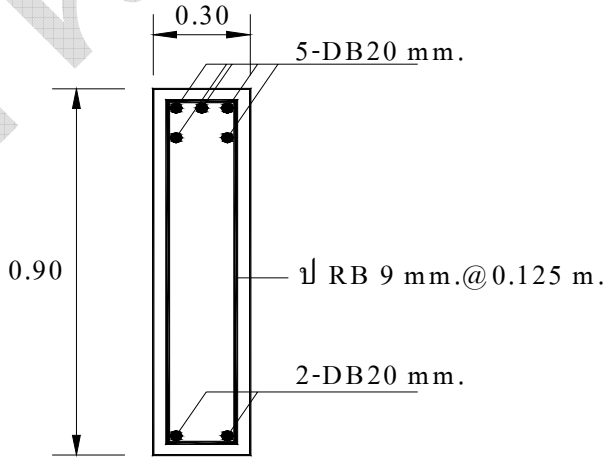
.....



F1-F2 Plan



F1-F2 Section



Section 1-1

แสดงการเสริมเหล็กในฐานรากร่วม

แบบฝึกหัดท้ายบทเรียน

1. ให้ออกแบบฐานรากแผ่ เพื่อรับน้ำหนักจากเสา 45,000 kg. ขนาดเสา 30 x 30 cm. ค่าความสามารถในการรับแรงกดของดินโดยปลอดภัยเท่ากับ 10,000 kg./m.^{2} กำหนดให้ fs = 1,200 ksc. f_c' = 100 ksc. fc = 60 ksc.

2. ให้ออกแบบฐานรากบนเสาเข็ม เพื่อรับน้ำหนักจากเสา 28,000 kg. ขนาดเสา 25 x 25 cm. โดยใช้เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงหน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 15 x 15 cm. ยาว 6.00 m. เสาเข็มนี้รับน้ำหนักโดยปลอดภัยได้ต้นละ 2,000 kg. กำหนดให้ fs = 1,200 ksc. f_c' = 135 ksc. fc = 60 ksc.

ตาราง ข ขนาดและเนื้อที่หน้าตัดของเหล็กเสริม

เนื้อที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมตามระยะห่างของเหล็กเสริม

ขนาด มม.	เนื้อที่หน้าตัด ตร.ซม.	เส้นรูป ซม.	น้ำหนัก กก./ม.	ΣA = ตร.ซม. ΣO = ซม.	เนื้อที่หน้าตัดและเส้นรอบรูปของเหล็กเสริมในพื้นกว้างหนึ่งเมตร ระยะห่างของเหล็กเสริมเป็นเซนติเมตร																			
					5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	22	24	26	28	30	32
RB 6				ΣA	5.66	4.72	4.09	3.54	3.14	2.83	2.57	2.36	2.18	2.02	1.89	1.77	1.66	1.57	1.49	1.42	1.29	1.18	1.09	1.01	0.94	0.88
	0.283	1.886	0.222	ΣO	37.72	31.43	27.26	23.58	20.95	18.86	17.14	15.72	14.51	13.47	12.57	11.79	11.09	10.48	9.93	9.43	8.57	7.86	7.25	6.74	6.29	5.89
RB 9				ΣA	17.72	10.60	9.19	7.95	7.06	6.36	5.78	5.30	4.89	4.54	4.24	3.98	3.74	3.53	3.35	3.18	2.89	2.65	2.45	2.27	2.12	1.99
	0.636	2.829	0.499	ΣO	56.58	47.15	40.88	35.36	31.43	28.29	25.72	23.57	21.76	20.21	18.86	17.68	16.64	15.72	14.89	14.14	12.86	11.79	10.88	10.10	9.43	8.84
				ΣA	15.60	13.00	11.14	9.75	8.67	7.80	7.09	6.50	6.00	5.57	5.20	4.87	4.59	4.33	4.10	3.90	3.54	3.25	3.00	2.78	2.60	2.43
DB 10	0.78	3.14	0.617	ΣO	62.80	52.33	44.86	39.25	34.89	31.40	28.54	26.17	24.15	22.43	20.93	19.62	18.47	17.44	16.53	15.70	14.27	13.08	12.08	11.21	10.47	9.81
RB 12				ΣA	22.60	18.83	16.33	14.12	12.55	11.30	10.27	9.42	8.69	8.07	7.53	7.06	6.65	6.28	5.95	5.65	5.14	4.71	4.35	4.04	3.77	3.53
DB 12	1.13	3.771	0.888	ΣO	75.42	62.85	54.50	47.14	41.90	37.71	34.28	31.42	29.01	26.94	25.14	23.57	22.18	20.95	19.85	18.86	17.14	15.71	14.50	13.47	12.57	11.78
RB 15				ΣA	35.40	29.50	25.58	22.12	19.66	17.70	16.09	14.75	13.62	12.64	11.80	11.06	10.41	9.83	9.32	8.85	8.04	7.37	6.81	6.32	5.90	5.53
	1.77	4.714	1.39	ΣO	94.28	78.57	68.13	58.92	52.37	47.14	42.85	39.28	36.26	33.67	31.43	29.46	27.73	26.19	24.81	23.57	21.43	19.64	18.13	16.84	15.71	14.73
				ΣA	40.20	33.50	29.05	25.12	22.33	20.10	18.27	16.75	15.46	14.36	13.40	12.56	11.82	11.16	10.56	10.05	9.14	8.37	7.73	7.18	6.70	6.28
DB 16	2.01	5.029	1.58	ΣO	100.58	83.82	72.68	62.86	55.87	50.29	45.72	41.91	38.68	35.92	33.52	31.43	29.58	27.94	26.47	25.14	22.86	20.95	19.34	17.96	16.76	15.72
RB 19				ΣA	56.80	47.33	41.04	35.50	31.55	28.40	25.82	23.66	21.85	20.28	18.93	17.75	16.70	15.78	14.95	14.20	12.91	11.83	10.92	10.14	9.47	8.88
	2.84	5.971	2.23	ΣO	119.42	99.52	86.30	74.64	66.34	59.71	54.28	49.76	45.93	42.65	39.80	37.32	35.12	33.17	31.43	29.86	27.14	24.88	22.96	21.32	19.90	18.66
				ΣA	62.80	52.33	44.85	39.25	34.89	31.40	28.54	26.16	24.15	22.42	20.93	19.62	18.47	17.44	16.52	15.70	14.27	13.08	12.07	11.21	10.47	9.81
DB 20	3.14	6.29	2.47	ΣO	125.80	104.83	89.86	78.62	69.89	62.90	57.18	52.42	48.38	44.93	41.93	39.31	37.00	34.94	33.10	31.45	28.59	26.20	24.19	22.46	20.97	19.66
RB 25				ΣA	98.20	81.83	70.96	61.38	54.55	49.10	44.64	40.92	37.77	35.07	32.73	30.69	28.88	27.28	25.84	24.55	22.32	20.46	18.88	17.54	16.37	15.34
DB 25	4.91	7.857	3.85	ΣO	157.14	130.94	113.55	98.21	87.29	78.57	71.43	65.47	60.44	56.12	52.37	49.11	46.22	43.64	41.35	39.28	35.71	32.74	30.22	28.06	26.19	24.55